JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Auditive Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe

Fachdidaktische Einsatzmöglichkeiten und Potenziale zum Aufbau fachbezogener Bildungssprache sowie zur Entwicklung mathematisch-konzeptuellen Wissens

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Philosophie
an der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Franziska Peters
Gießen
2023

Erstgutachterin:
Prof. Dr. Susanne van Minnen

Zweitgutachter:
Prof. Dr. Christof Schreiber

Tag der Disputation:
10. November 2023

Inhaltsverzeichnis

1. EINFÜHRUNG 7

1.1 ZUR BEDEUTUNG VON SPRACHE UND ZUHÖREN 7
1.2 PROBLEMSTELLUNG: AUDITIVE MEDIEN ALS BILDUNGSRESSOURCE 10
1.3 AUSGANGSLAGE: KOOPERATION MIT DEM HESSISCHEN RUNDFUNK 11
1.4 ZIELSETZUNG DER ARBEIT 13
1.5 AUFBAU DER ARBEIT 15

2. AUDITIVE INFORMATIONSVERARBEITUNG 17

2.1 KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHE PERSPEKTIVE 17
2.1.1 Multi-Memory-System 17
2.1.2 Dual Channels 22
2.1.3 Limited Capacity 29
2.1.4 Active Processing 36
2.1.5 Konstruktion mentaler Modelle 37
2.2 MATHEMATIKDIDAKTISCHE PERSPEKTIVE 43
2.2.1 Visualisierungen mentaler Modelle 44
2.2.2 Mathematische Vorstellungsübungen 44
2.3 HÖRVERSTEHEN UND ZUHÖRKOMPETENZ 46
2.3.1 Prozessmodell des Zuhörens nach Imhof 50
2.3.2 Pädagogische Förderperspektiven von Zuhörkompetenz 54
2.4 ZWISCHENFAZIT 55

3. AUDITIVE MEDIEN ALS LERNMATERIALIEN 57

3.1 FORSCHUNGSLAGE 58
3.2 EIGENSCHAFTEN AUDITIVER MEDIEN 61
3.2.1 Sprachliche Besonderheiten 62
3.2.2 Kognitive Medienwirkungen 65
3.3 HÖRVERSTEHEN 67
3.3.1 Untersuchung von Hörverstehen 68
3.3.2 Stufen des Hörverstehens 70
3.4 GELINGENSBEDINGUNGEN FÜR DEN FACHDIDAKTISCHEN EINSATZ AUDITIVER MEDIEN 71
3.4.1 Kriterien schülergerechter auditiver Medien 73
3.4.2 Hördidaktische Ansätze für einen gewinnbringenden Einsatz 87
3.5 HÖRAUFTRÄGE 94
3.5.1 Rekonstruieren des Gehörten durch „self-explanation“ 97
3.5.2 Focused and scaffolded prompts: Hören mit bestimmter Fragestellung 98
3.5.3 Visualisierung mentaler Vorstellungen des Gehörten 100
3.5.4 Enaktives (Re-)Konstruieren 103
3.6 ZWISCHENFAZIT 104

4. SPRACHE IM MATHEMATIKUNTERRICHT 105

4.1 FORSCHUNGSHISTORIE UND FORSCHUNGSSTAND 105
4.2 SPRACHE IN IHREN VERSCHIEDENEN FUNKTIONEN UND ROLLEN 108
4.3 BEGRIFFSKLÄRUNG – DIE SPRACHLICHEN REGISTER 111
4.3.1 Sprache der Nähe und Sprache der Distanz – Von Mündlichkeit und Schriftlichkeit 111
4.3.2 Alltagssprache 114
4.3.3 Fachsprache 115
4.3.4 Bildungssprache 116
4.3.5 Schulsprache 122

4.3.6 Unterrichtsfachsprache ... *123*
4.4 Sprachsensibler Mathematikunterricht ... 126
4.4.1 Begriffsbestimmung ... *127*
4.4.2 Grundprinzipien des sprachsensiblen Mathematikunterrichts ... *128*
4.4.3 Begriffsbildungsprozesse ... *133*
4.4.4 Ansätze für die Förderung sprachlicher Kompetenzen ... *137*
4.5 Zwischenfazit ... 148

5. ANALYSE DER RADIOSENDUNGEN ... 150

5.1 Wann ist ein Spiel fair? ... 150
5.1.2 Inhaltliche Beschreibung ... *151*
5.1.2 Mediendidaktische Analyse ... *152*
5.1.3 Sprachliche Bedarfsanalyse ... *153*
5.1.4 Fachwissenschaftliche Analyse ... *159*
5.1.5 Fachdidaktische Analyse ... *167*
5.1.6 Methodisch-didaktische Schlussfolgerungen ... *178*
5.1.7 Darstellung der Lernumgebung ... *183*
5.2. Haus der Vierecke ... 188
5.2.1 Inhaltliche Beschreibung ... *188*
5.2.2 Mediendidaktische Analyse ... *190*
5.2.3 Sprachliche Bedarfsanalyse ... *191*
5.2.4 Fachwissenschaftliche Analyse ... *196*
5.2.5 Fachdidaktische Analyse ... *203*
5.2.6 Methodisch-didaktische Schlussfolgerungen ... *223*
5.2.7 Darstellung der Lernumgebung ... *228*

6. METHODOLOGIE UND METHODIK ... 235

6.1 Methodologische Überlegungen ... 235
6.1.1 Qualitative Sozialforschung ... *235*
6.1.2 Qualitative mathematikdidaktische Unterrichtsforschung ... *238*
6.2 Methodische Vorüberlegungen ... 242
6.2.1 Methodenkombination zur Datenanalyse ... *242*
6.2.2 Entscheidung zur komparativen Analyse ... *245*
6.2.3 Genese des Purposive Samplings durch offene Exploration ... *247*
6.2.4 Erkenntnisse aus den Pilotierungen ... *252*
6.3 Methodisches Vorgehen ... 255
6.3.1 Datenerhebung ... *255*
6.3.2 Datenfixierung: Aufbereitung der Videoaufzeichnungen ... *259*
6.3.3 Analyseschritt 1: Qualitative Inhaltsanalyse ... *260*
6.3.4 Analyseschritt 2: Interaktionsanalyse ... *270*
6.4 Anwendung der Gütekriterien qualitativer Forschung ... 272
6.4.1 Qualitative Inhaltsanalyse ... *273*
6.4.2 Interaktionsanalyse ... *275*
6.4.3 Gültigkeit der Untersuchung ... *276*

7. AUSWERTUNG DER QUALITATIVEN INHALTSANALYSE ... 278

7.1 Qualitative Auswertung ... 278
7.1.1 Induktive Kategorienbildung ... *278*
7.1.2 Darstellung des Kategoriensystems ... *280*
7.2 Quantitative Auswertung ... 287
7.3 Zwischenfazit ... 294

8. AUSWERTUNG DER DETAILANALYSE 297

8.1 Auswahl der zu analysierenden Sequenzen 297
8.2 Analyse der einzelnen Sequenzen – Einheit „Fairness und Zufallsexperimente“ 299
Analyse 01: ‚Pasch und Straße‘ 299
Analyse 02: Wortspeicherarbeit ‚Chance‘ 306
Analyse 03: Kombinationsmöglichkeiten 313
Analyse 04: Besprechung der Tabelle 325
Analyse 05: Partnerarbeit am Glücksrad 330
8.3 Analyse der einzelnen Sequenzen – Einheit „Haus der Vierecke“ 337
Analyse 06: Konvex und Konkav 337
Analyse 07: Partnerarbeit Parallelogramm 358
Analyse 08: Analyse der Steckbriefe 369
Analyse 09: Einordnung der Raute und mentale Veränderungsprozesse 374
Analyse 10: Einordnung des Rechtecks und Begriffsverständnis 384
Analyse 11: Begriffshierarchie 398

9. RESÜMEE 404

9.1 Forschungsmethodische Erkenntnisse 405
9.2 Zusammenfassung und Reflexion der Ergebnisse 408
9.2.1 Medien- und fachdidaktische Kriterien an schülergerechte auditive Medien (E1) 410
9.2.2 Methodisch-didaktische Hinweise für einen gewinnbringenden Einsatz (E2) 414
9.2.3 Potenziale auditiver Medien aus mathematikdidaktischer Perspektive (E3) 417
9.2.4 Mehrwert durch Reduktion 425
9.4 Ausblick 427

LITERATUR 428

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 444

TABELLENVERZEICHNIS 446

ANHANG 447

A1: Transkriptionslegende 447
A2: Übersicht über die Transkriptausschnitte für die Detailanalyse 448
A3: Kategoriensystem 450
A4: Auszug aus dem Forscherheft 452
A5: Beispielhafter Forscherauftrag 453
A6: Übersicht über die genutzten Audio-Sequenzen 454
A7: Transkribiertes Manuskript der Sendung ‚Wann ist ein Spiel fair?‘ 455
A8: Transkribiertes Manuskript der Sendung ‚Wer wohnt im Haus der Vierecke?‘ 460
A9: Gesamte Transkription der Datenerhebung 465

„Denn die Fähigkeit des aktiven Zuhörens ist nicht nur die elementare Voraussetzung für das Gelingen zwischenmenschlicher Kommunikation in allen Lebensbereichen und für die Lösung von Konflikten, sondern auch für das Lernen und Verstehen im engeren Sinne."
(Ludowika Huber; Eva Odersky, 2000, S. 5)

1. Einführung

1.1 Zur Bedeutung von Sprache und Zuhören

Wie das Eingangszitat treffend beschreibt, ist das Zuhören eine Schlüsselkompetenz mit immenser Bedeutung sowohl für die alltägliche Kommunikation als auch für das Lernen und Verstehen. Schill (1998) begründet die Bedeutung des Zuhörens folgendermaßen:

> Zum einem, weil es notwendig ist, sich ein Verständnis von der Welt durch Teilhaben an Geräuschen, Tönen und Klängen zu verschaffen; zum anderen, weil wir nur über das Gehör die gesprochene Sprache - unser wichtigstes Kommunikationsmittel - aufnehmen können. Wer also in Schule und Unterricht zur Vermittlung von kommunikativer Kompetenz beitragen will, hat diese Sinneskompetenz angemessen zu beachten und zu fördern. (S. 19-23)

Trotzdem spielt das Hören im Unterricht bisher kaum eine Rolle wie Leuders (2012) in ihrer Studie zu auditiven Lernmaterialien für blinde Kinder bemerkt, in der sie die von ihr untersuchten lernförderlichen Aspekte auditiver Lernmaterialien auch für sehende Kinder als relevant beschreibt. Das Zuhören ist also eine Kompetenz, die stiefmütterlich behandelt wird und dementsprechend in nationalen Vergleichsstudien auch einen erschreckenden Kompetenzrückgang zu verzeichnen hat. Der IQB-Bildungstrend 2021 zeigt am Ende der vierten Jahrgangsstufe in allen untersuchten Fächern und Kompetenzbereichen ungünstige Trends:

> Im Vergleich zum Jahr 2016 entsprechen die Kompetenzrückgänge etwa einem Drittel eines Schuljahres im Lesen, einem halben Schuljahr im Zuhören sowie jeweils einem Viertel eines Schuljahres in der Orthografie und im Fach Mathematik. Betrachtet man den längerfristigen Trend seit dem Jahr 2011, fallen die ungünstigen Veränderungen im Fach Deutsch mit ca. einem halben (Lesen) bis zu zwei Dritteln eines Schuljahres (Zuhören) und im Fach Mathematik mit einem halben Schuljahr noch stärker aus. (Stanat et al., 2022, S. 20)

Das Zuhören hat also sogar den höchsten Kompetenzrückgang zu verzeichnen. Da diese Studien längerfristige Trends beschreiben, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Kompetenzrückgänge den Folgen der Pandemie zuzuschreiben sind. Aus selbigem Grund kann nicht davon ausgegangen werden, dass temporäre Programme hier Hilfe leisten könnten. Vielmehr braucht es frühzeitig beginnende und langfristig angelegte Förderstrategien, die systematisch auf die Sicherung von Mindeststandards gerichtet werden, um Schüler:innen die Entwicklung von Kompetenzen zu ermöglichen, die für ihre weitere Bildungslaufbahn grundlegend sind (Stanat et al., 2022, S. 21). Der IQB-Bildungstrend 2021 zeigt weiterhin sich deutlich verstärkende soziale und zuwanderungsbezogene Disparitäten (Stanat et al., 2022, S. 14f). Im Hinblick auf zuwanderungsbezogene Disparitäten sind die Kompetenznachteile im Zuhören wieder am stärksten ausgeprägt (Stanat et al., 2022, S. 15). Sprachförderung, die auch das Zuhören in den Blick nimmt, muss also zentrales Element in Bildungsstandards, Lehrplänen und Schulalltag sein.

Tatsächlich wurde mit der Verabschiedung der nationalen Bildungsstandards 2022 für das Fach Deutsch das „verstehende Zuhören“ (Kultusministerkonferenz, 2022a, S. 11f.) als eigener Teilbereich zum 2004 eingeführten Kompetenzbereich ‚Zuhören‘ ergänzt und beschrieben. So erfreulich dieser Ansatz ist, muss doch kritisiert werden, dass in den Formulierungen der Kultusministerkonferenz (2022a) weder Subkompetenzen oder Teilfertigkeiten, die das Kompetenzkonstrukt ausmachen, noch Aufgabenbeispiele, die zu seiner Entwicklung beitragen, konkretisiert werden (Böhme et al., 2010). So wird beispielsweise der Aspekt *verstehend zuhören* mit der wenig präzisen Subkompetenz *Inhalte zuhörend verstehen* beschrieben. Weiterhin kann bemängelt werden, dass zu diesem Kompetenzbereich „bislang nur wenig ausgearbeitete Modelle und kaum entsprechende empirische Befunde vorliegen“ (Behrens, 2010, S. 31). Es wird also deutlich, dass in Bezug auf das Zuhören sowohl Forschungsbedarf als auch eine Ausschärfung eines Kompetenzmodells nötig ist. Ein solches Kompetenzmodell soll in Kapitel 2.3.1 genauer in den Blick genommen werden. Zu einem Zuwachs an Forschungsergebnissen soll der empirische Teil dieser Studie einen Beitrag leisten. Von Interesse sind hierbei nicht nur schnelle, automatisierte Verarbeitungsprozesse von Hörtexten und das Erkennen wörtlicher Bedeutung, sondern auch, ob Bedeutungen schlussfolgernd erfasst werden können. Wissensbasierte Schlussfolgerungen sollten sich hierbei – im Gegensatz zu auf individuellem Vorwissen basierenden Schlussfolgerungen – nur auf im Hörtext zur Verfügung gestelltes Wissen beziehen (Buck, 2001, S. 113) oder von diesem abgegrenzt werden, um das Kompetenzkonstrukt des Hörverstehens zu charakterisieren und untersuchen zu können.

Neben der Zuhörkompetenz und dem Hörverstehen wird als Ergebnis nationaler und internationaler Schulleistungsstudien auch die Kenntnis einer spezifischen Bildungs- und Fachsprache als Prädiktor für fachspezifischen Schulerfolg sowie allgemeinen Bildungserfolg und damit auch für Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit betrachtet (Kultusministerkonferenz, 2019). Deshalb muss der kompetente Umgang mit fachbezogener Bildungssprache in der Schule gezielt gefördert werden (Schindler et al., 2019). Die allgemeine Bildungssprache differenzierend wird hier der Fachbezug der Bildungssprache betont, da sich die bildungssprachlichen Anforderungen in den jeweiligen Schulfächern unterscheiden und deshalb für das einzelne Fach reflektiert werden müssen (Feilke, 2013). Aus mathematikdidaktischer Perspektive, dem Rahmen der vorliegenden Arbeit, kann also von einer fachbezogenen Bildungssprache mit fachsprachlichen Elementen der Mathematik gesprochen werden. Auch hier werden durch Forschungen in der Mathematikdidaktik, der Psychologie und der Pädagogik die vielfältigen Zusammenhänge zwischen sprachlichen und mathematischen Leistungen untersucht und nachgewiesen (z. B. Nührenbörger & Schwarzkopf, 2010a; Prediger & Wessel, 2011, Schröder & Ritterfeld, 2014). Verboom (2010) stellt in allen Bereichen des Mathematikunterrichts einen hohen Anteil produktiven Sprachgebrauchs fest und betont, dass sich die sprachlichen Anforderungen im Fach Mathematik in den letzten 20 Jahren beträchtlich erhöht haben und durch veränderte Zielvorstellungen, Lernformen und Aufgabenformate auszeichnen. Die Bedeutung von Sprache für mathematisches Lernen spiegelt sich auch in den durch die Bildungsstandards (2022) festgelegten und geforderten prozessbezogenen Kompetenzen wider. Hier ist durch die Kompetenzen „mathematisch Argumentieren“, „mathematisch Darstellen“, und „mathematisch Kommunizieren“ die fachbezogene Bildungssprache fest in die Anforderungen des Mathematikunterrichts integriert und mit dem Erwerb mathematischer Kompetenzen verbunden. Um die Entwicklung dieser Kompetenzen zu unterstützen wird deshalb eine sprachsensible Gestaltung des Mathematikunterrichts gefordert (Kap. 4.4), durch die eine geteilte Sprachbasis und darauf aufbauend gelingendes mathematisches Lernen gesichert werden kann (Götze, 2015). Dazu muss zunächst ein Bewusstsein für den engen Zusammenhang sprachlichen und mathematischen Lernens geschaffen werden. Dieser spiegelt sich auch in der Arbeit mit den mathematischen Radiosendungen wider. Ohne sprachliche Kompetenzen können die mathematischen Inhalte der Sendungen nicht verstanden werden. Auf der anderen Seite stellen die Sendungen bildungssprachliche Vorbilder dar, welche die Lernenden in ihrem Fachspracherwerb unterstützen können. Wie dies vonstatten gehen kann und welche weiteren

Potenziale sich durch die Arbeit mit auditiven Medien im Mathematikunterricht ergeben, soll Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sein.

1.2 Problemstellung: Auditive Medien als Bildungsressource

Auditive Medien dienen in ihrer ersten Erscheinungsform, dem Massenmedium Radio, schon seit vielen Jahren nicht nur der Unterhaltung, sondern leisten auch einen Beitrag zur Bildung. Aufbauend auf dem Schulfunk der 1920er Jahre verfolgt auch das Kinderfunkkolleg Mathematik, das nachfolgend noch genauer vorgestellt werden soll (Kap. 1.3), diesen Bildungsauftrag. Durch die „explosionsartige Vermehrung von Multimedia-Veröffentlichungen im Internet“ (Richardson, 2011, S. 167) ist auch die Anzahl digitaler Audio-Produktionen immens gewachsen, die inzwischen ein breites Publikum erreichen. Richardson (2011) bemerkt dabei einen stetig wachsenden Anteil an selbstproduzierten und verbreiteten Radiosendungen und Podcasts, für den er einen weiteren Anstieg prognostiziert.

Zwei Aspekte gewinnen hierdurch an Bedeutung. Zum einen müssen weiterhin oder/und vermehrt qualitativ hochwertige auditive Medien produziert werden. Zum anderen braucht es Kompetenzen seitens der Lehrkräfte, aus der Masse der zur Verfügung stehenden auditiven Medien eine medien- und fachdidaktisch begründete Auswahl zu treffen und diese Medien für den Unterricht aufzubereiten. Denn die reine Darbietung auditiver Information gewährleistet noch keinen Lernzuwachs. Informationen müssen nicht nur gespeichert, sondern auch zueinander in Verbindung gesetzt, in bestehendes Wissen integriert, überprüft und auf reale Problemstellungen angewendet werden (Reich et al., 2005, S. 90). Durch gut angeleitete Arbeit mit auditiven Medien kann also auch Medienkompetenz (Baacke, 1997) gefördert werden.

Aus sprachwissenschaftlicher Perspektive sind auditive Medien „Orte einer neuen Mündlichkeit geworden, die weder wie die ursprüngliche mündliche Kultur dialogisch ist, noch durchgehend die Tiefe des Schriftlichen erreicht“ (Wachtel, 2013, S. 13). Es kann von einer schriftgeprägten Mündlichkeit gesprochen werden, deren Vehikel die Hörtexte sind (Wachtel, 2013). In der vorliegenden Studie sind diese Hörtexte die Radiosendungen bzw. ihre Manuskripte. Sowohl bei der Produktion dieser Hörtexte als auch bei der Rezeption im Unterricht muss die Diskrepanz zwischen Schreibdenken und Hörverstehen beachtet werden (Gutenberg, 2000; Kap. 3.4.1). Wird das Hörverstehen durch gestalterische Elemente des Mediums und hördidaktische Ansätze der Lehrkraft unterstützt, kann die schriftgeprägte Mündlichkeit zu einem Potenzial werden.

Wirft man einen Blick in die Curricula und Rahmenpläne, so wird deutlich, dass diese Potenziale nur von bestimmten Fächern wie den (Fremd-)Sprachen, dem Fach Musik und den

gesellschaftskundlichen Fächern genutzt werden. Doch auch für das Fach Mathematik lassen sich vielversprechende Potenziale und Möglichkeiten erkennen (Leuders, 2012; Rink & Walter, 2020). Das Lernen mit auditiven Medien im Mathematikunterricht zeigt sich als neues und relevantes Forschungsgebiet, welches spannende Fragen aufwirft: Wie lernen Kinder mit auditiven Medien? Wie gehen sie mit ihnen um? Was lernen sie sprachlich? Wie kann mathematisches Lernen auditiv geschehen? Zwar gibt es eine Vielzahl an Forschungen zu Sprachlerneffekten durch auditive Medien (z.B. Ritterfeld et. al., 2006) und Ratgeber zum Produzieren hörfreundlicher Beiträge (z.B. Wachtel, 2013). Was weiterhin fehlt sind jedoch Analysen von unterrichtlichen Interaktionsprozessen im Umgang mit auditiven Medien im Mathematikunterricht sowie die auf empirischen Erkenntnissen aufbauende genaue Beschreibung ihrer Potenziale. Erst auf Basis diesbezüglicher Erkenntnisse kann ein gewinnbringender Einsatz auditiver Medien erreicht, gesichert und in der Lehrkräftebildung angeleitet werden. Aus mathematikdidaktischer Perspektive ist es somit erforderlich, die Besonderheiten und Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht zu erforschen, entsprechende didaktische Konzepte und konkrete Einsatzszenarien zu entwickeln sowie Kriterien aufzustellen, durch welche Lehrkräfte befähigt werden, aus dem Überangebot an auditiven Medien im Internet eine fach-und mediendidaktisch sinnvolle Auswahl zu treffen. Diesen Zielen konnte in Rahmen eines Kooperationsprojektes mit dem Hessischen Rundfunk nachgegangen werden (Peters & Schreiber, 2020).

1.3 Ausgangslage: Kooperation mit dem Hessischen Rundfunk

Seit 2015 besteht am Institut für Didaktik der Mathematik der Justus-Liebig-Universität Gießen eine Kooperation mit dem Hessischen Rundfunk zur Entwicklung, Produktion und Untersuchung von mathematischen Radiosendungen für schulischen Bildung.[1] Gegenstand des Projektes ist das Kinderfunkkolleg Mathematik[2], ein Angebot im Programm des hr2 Kultur. Nach den erfolgreichen Produktionen der Kinderfunkkollegs zu den Themen Geld, Religion und Musik wurde eine Sendereihe zum Thema Mathematik geplant. Dazu wurden inzwischen 22 Sendungen zu verschiedenen mathematischen Themen aus allen Inhaltsbereichen produziert, samstags nachmittags im Radio gesendet und nach dem Streaming für die langfristige und zeitlich unabhängige Nutzung auf der eigens entwickelten Online-Plattform

[1] Die Kooperation mit dem Hessischen Rundfunk läuft aktuell unter Beteiligung des Mathematikums in Gießen, dem Institut für Didaktik der Mathematik der Justus-Liebig-Universität Gießen, der Stiftung Zuhören, der Sparkassen Kulturstiftung Hessen Thüringen und des Hessischen Kultusministeriums.
[2] www.kinderfunkkolleg-mathematik.de.

zum Download zur Verfügung gestellt.[3] Das Projekt läuft dabei in zwei ‚Richtungen'[4]: Auf der Seite der Produktion werden die Radiosendungen von erfahrenen Radioautor:innen und Produzent:innen in Zusammenarbeit mit Expert:innen aus der Mathematikdidaktik geplant, aufgenommen und gestreamt. In jeder Sendung wird ein mathematisches Thema vorgestellt oder ein mathematisches Problem aufgeworfen und bearbeitet. Alle Beiträge sind im Format eines ‚Features' geplant (Gutenberg, 2000; siehe dazu Kap. 3.4.1). Sie enthalten O-Töne von Expert:innen, die zu den jeweiligen Themen befragt werden, und von kindlichen Protagonist:innen, die Aspekte der mathematischen Themen in einer für Schüler:innen verständlichen Sprache erklären. Zusätzlich wurde in Seminaren mit Studierenden der Justus-Liebig-Universität Gießen das Audio-Glossar „Lucy fragt…" entwickelt, in welchem einzelne Begriffe oder Fragen aus den Sendungen, die weiterer Erklärung bedürfen, in einem fiktiven Dialog von maximal zwei Minuten vertieft werden.[5] Während der Entwicklung dieser Beiträge lernten die Studierenden, mathematische Begriffe anschaulich – aber rein auditiv – aufzubereiten, sodass sie für die kindlichen Hörer:innen trotz Fehlen von Visualisierungen verständlich sind (Peters & Schreiber, 2020). Gerade in der Mathematik als schriftbasierter Wissenschaft ist es oft nicht „ohne weiteres möglich, über mathematische Sachverhalte zu kommunizieren ohne dabei etwas schriftlich aufzuzeichnen" (Schreiber & Klose, 2014, S. 36; siehe auch Schreiber, 2010), weshalb der Verzicht auf schriftlich-grafische Elemente hier eine besondere Herausforderung darstellt. Neben dem „Schreiben fürs Hören" (Wachtel, 2013; Kap. 3.4.1) ist sehr präzises Erklären erforderlich, was zur produktiven Herausforderung einer genauen Auseinandersetzung und Reflexion der mathematischen Themen seitens der Studierenden führt.

Aus dieser Arbeit und den beobachteten Besonderheiten, welche die ausschließlich medial phonische Darstellung der Beiträge mit sich brachte, entstand die zweite ‚Richtung' des Kooperationsprojektes: Die Entwicklung von fachdidaktischen Einsatzmöglichkeiten dieser auditiven Medien für den Mathematikunterricht sowie die empirische Untersuchung dieser Unterrichtskonzepte und möglicher Potenziale. Es eröffnete sich also ein Handlungs- und Untersuchungsfeld der Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsmaterialien und Lernumgebungen. Da das Anregen von fachlichem und sprachlichem Lernen über das Potenzial auditiver Medien im Mathematikunterricht eine neue Aufgabe darstellt, sollten anwendungsorientierte Höraufträge und Unterrichtsmaterialien entwickelt und in der Praxis

[3] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen.
[4] Eine ausführliche Beschreibung der Entstehung und der Inhalte des Kooperationsprojektes findet sich in Peters und Schreiber (2020).
[5]

erprobt werden. Die Lernumgebungen sollten neben dem mathematischen Lernen auch verschiedene Zuhörsituationen ermöglichen und durch Höraufträge bzw. Elaboration die auditive Informationsverarbeitung ermöglichen (Kap. 3.5). Um eine möglichst breite Anwendbarkeit in der Schulpraxis zu gewährleisten, wurden dazu innerhalb eines weiteren Seminares an der Justus-Liebig-Universität Gießen zu allen Radiosendungen des Kinderfunkkollegs Lernumgebungen und Materialien entwickelt, an verschiedenen Grundschulen erprobt und aufgrund der gemachten Erfahrungen optimiert. Einige dieser Einheiten wurden vom Hessischen Rundfunk inzwischen in einem Downloadportal für Eltern und Lehrkräfte zum Herunterladen zur Verfügung gestellt.[6]

An diesem Punkt schließt die hier vorliegende Arbeit an. In einer empirischen Studie sollen der Einsatz auditiver Medien sowie mögliche Potenziale erforscht werden. Dazu werden zwei Radiosendungen und die für sie entwickelten Unterrichtskonzepte als Fallbeispiele betrachtet und komparativ analysiert. Im Prozess des explorativen Entwicklungsprojektes wurde dabei das Ineinandergreifen von Entwicklung, Erprobung und Evaluation verlangt. Der Vorteil einer solchen Vorgehensweise liegt in der Möglichkeit, Beobachtungen und Erkenntnisse aus den ersten Erprobungen direkt reflektieren und zur Optimierung der Projektumsetzung nutzen zu können. Dieses prozesshafte Ineinandergreifen spiegelt sich in Teilen der Arbeit wider, wenn beispielsweise die Erfahrungen aus den Pilotierungen das Sampling mitbestimmen und die Entwicklung des Designs der Lernumgebungen für die Hauptstudie beeinflussen (Kap. 6.2). Der Entwicklungsprozess begleitet und beeinflusst also die Forschung, während die Forschung wiederum den Entwicklungsprozess begleiten und beeinflussen kann.

1.4 Zielsetzung der Arbeit

Das Lernen mit auditiven Medien eröffnet eine Schnittstelle sprachlichen, mathematischen und mediendidaktischen Lernens. Im Hinblick auf diese Schnittstelle steht in der vorliegenden Arbeit die Frage im Mittelpunkt, welche Möglichkeiten und Potenziale der Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe bieten kann. Beim Lernen mit Medien unterscheidet Sweller (2005, S. 28) zwischen „dual-modality instruction“, bei der sowohl auditive als auch visuelle Informationen dargeboten werden, und „single-modality instruction, normally presented in visual only mode“. Das genutzte Medium der vorliegenden Arbeit kann also als ‚single-modality instruction‘ definiert werden. Die Besonderheit ist dabei jedoch, dass

[6] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/unterrichtsmaterial.

hier nicht im ‚visual only mode' präsentiert wird, sondern im ‚audio only mode' – eine Form, die wie Sweller (2005) richtig feststellt, in der Medienwelt seltener genutzt wird als ‚visual only' oder ‚visual plus audio' und deshalb auch weniger beforscht ist. Trotzdem ist außerhalb des Lernens mit Medien die Präsentation von Information im Alltag in zwischenmenschlicher Kommunikation und im schulischen Alltag quasi immer im „audio only mode", wie auch wissenschaftliche Arbeiten im Bereich der Zuhörkompetenz zeigen (Kap. 2.3). Diese beiden Perspektiven zeigen zum einen die Forschungslücke, die diese Arbeit zu schließen sucht, und zum anderen die Dringlichkeit der Thematik sowohl für schulisches als auch für alltägliches Lernen. Es soll in diesem Sinne also neben einem Beitrag zum Diskurs auch Sensibilisierungsarbeit geleistet und ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass Zuhören als Kompetenz gelernt werden muss. Zur Untersuchung der fachdidaktischen Möglichkeiten und Potenziale des Einsatzes auditiver Medien im Mathematikunterricht wurden deshalb zwei Lernumgebungen zu mathematischen Radiosendungen des Kinderfunkkollegs Mathematik entwickelt, in der unterrichtlichen Praxis empirische Daten erhoben und diese unter unterschiedlichen Gesichtspunkten analysiert:

- Dabei soll zum einen der Frage nachgegangen werden, wie der fachdidaktisch angemessene Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht zum Erwerb mathematischer und fachsprachlicher Kompetenzen beitragen kann, ohne die Lernenden auf der rein verbalen Darstellungsebene zu sehr herauszufordern.
- Außerdem braucht es Elaborationsstrategien, mithilfe derer das Gehörte aktiv verarbeitet und mathematisches Lernen angeregt werden kann.

Da sich die Studie durch einen stark explorativen Charakter auszeichnet, wurde der Entwicklung der Lernumgebungen die erste Forschungsfrage vorangestellt, zu deren Beantwortung aus der medien- und fachdidaktischen Theorie heraus Gelingensbedingungen für den Einsatz auditiver Medien im (sprachsensiblen) Mathematikunterricht abgeleitet werden. Dazu sollen aus sprachwissenschaftlicher Perspektive Kriterien für schülergerechte Medien aufgestellt und methodisch-didaktische Hinweise für einen möglichst gewinnbringenden Einsatz der auditiven Medien entwickelt werden. Diese können dann in der empirischen Studie direkt angewendet und untersucht werden.

Auf Grundlage der empirischen Daten soll dann in einem deskriptiven Schritt das noch kaum beforschte Forschungsfeld abgesteckt und durch induktive Kategorienbildung Aspekte mathematischen und sprachlichen Lernens beschrieben werden, die durch die Arbeit mit

auditiven Medien angeregt werden. Das entwickelte Kategoriensystem kann aus forschungstheoretischer Perspektive zur Formulierung von Aspekten der Fokussierung für die Detailanalyse sowie zur Auswahl von genauer zu untersuchenden Sequenzen für die Detailanalyse dienen. Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Evaluationsforschung (Bortz & Döring, 2006) kann auf diese Weise die Exploration der Wirksamkeit auditiver Medien im Mathematikunterricht im Sinne von Wirksamkeitsforschung angestrebt werden. Es soll der Frage nachgegangen werden, inwiefern sich der fachdidaktische Einsatz auditiver Medien als lernwirksam erweist. Ziel der Detailanalysen ist es deshalb, Potenziale auditiver Medien aus mathematikdidaktischer Perspektive begrifflich fassbar zu machen und zu rekonstruieren, wie die Potenziale mathematisches und fachsprachliches Lernen unterstützen. Es ergeben sich deshalb die folgenden Forschungsfragen:

F1: Was sind Gelingensbedingungen für den fachdidaktischen Einsatz auditiver Medien im sprachsensiblen Mathematikunterricht?

F1.1 Welche Kriterien können für schülergerechte auditive Medien identifiziert werden?

F1.2 Wie kann ein gewinnbringender fachdidaktischer Einsatz aussehen?

F2: Welche Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden?

F3: Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisch-konzeptuelles und fachsprachliches Lernen unterstützen?

1.5 Aufbau der Arbeit

Um die drei Forschungsfragen eingehend zu beantworten ist die vorliegende Arbeit in drei thematische Bereiche gegliedert. Zu Beginn wird die *theoretische Grundlegung* in vier Kapitel vorgenommen (Kap. 2 - 5). Anschließend werden im *Studiendesign* die Methodologie und Methodik der Studie erläutert (Kap. 6). Darauf aufbauend werden die *Ergebnisse* der Studie durch die Auswertung der empirischen Daten entwickelt und reflektiert (Kap. 7-9).

In den *theoretischen Grundlagen* wird zunächst die auditive Informationsverarbeitung aus kognitionspsychologischer Perspektive in den Blick genommen, um Funktionsweisen und Bedingungen von Hörverstehen zu klären (Kap. 2). Nachfolgend wird der Blick in die medien- und fachdidaktische Richtung gelenkt und auditive Medien als Lernmaterialien und Bildungsressourcen ergründet (Kap. 3). Dazu werden die besonderen Merkmale dieses

Mediums aufgezeigt, aktuelle Forschungsergebnisse aufgeführt sowie im Sinne des Forschungsinteresses Gelingensbedingungen bzgl. der didaktisch-methodischen Gestaltung von Lernumgebungen für eine lernförderliche Rezeption entwickelt. In diesem Kapitel wird die erste Forschungsfrage mit ihren beiden Unterfragen aufgeworfen und anhand der Theorie beantwortet. Da eines der besonderen Merkmale die Reduktion auf die verbale Darstellungsebene ist und auditive Medien somit eine besondere Bedeutung für sprachliches Lernen haben können, wird anschließend die Verbindung von Fach und Sprache hergestellt und fachsprachliches Lernen aus mathematikdidaktischer Perspektive erläutert (Kap 4). Dazu werden zuerst die Rolle und Funktion von Sprache sowie die verschiedenen Sprachregister aus soziolinguistischer Perspektive dargestellt. Darauf aufbauend werden Ansätze für einen sprachsensiblen Mathematikunterricht in der Primarstufe vorgestellt, die auch in der Arbeit mit den auditiven Medien ressourcenorientiert genutzt werden können. Das letzte Theoriekapitel beschäftigt sich mit dem konkreten Untersuchungsgegenstand und besteht aus zwei analog aufgebauten Analysen der beiden in dieser Studie untersuchten Radiosendungen des Kinderfunkkollegs Mathematik (Kap. 5). Zu beiden Sendungen werden medien- und fachdidaktische sowie sprachliche Analysen durchgeführt und aus diesen Schlussfolgerungen für die Entwicklung der Lernumgebungen gezogen.

Im *Studiendesign* (Kap. 6) wird dargestellt, wie diese Lernumgebungen methodisch durchgeführt und untersucht wurden. Dazu werden nach einer methodologischen Einordnung in die qualitative mathematikdidaktische Unterrichtsforschung die Datenerhebung und Auswertung dargestellt. Dabei wird auch geklärt wie durch einen zweischrittigen Analyseprozess mit einem deskriptiven und einem rekonstruktiven Verfahren die letzten beiden Forschungsfragen anhand der empirischen Ergebnisse beantwortet werden sollen.

Im letzten Teil werden die *Ergebnisse* der empirischen Analysen dargestellt. Hier wird zuerst die Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse durchgeführt und aus den Ergebnissen dieser Analyse Schlussfolgerungen für die Detailanalyse gezogen (Kap. 7). Anschließend werden die aus den Detailanalysen hervorgehenden Zusammenfassungen und Schlussfolgerungen zu den ausgewählten Sequenzen dargelegt (Kap. 8). Abschließend werden die zentralen Erkenntnisse aus den Analysen im Hinblick auf das Forschungsinteresse nach drei Aspekten der Fokussierung gebündelt und reflektiert, bevor mit einem Ausblick auf weitere Forschungsbedarfe und Projekte Impulse für die Zukunft formuliert werden sollen (Kap 9).

2. Auditive Informationsverarbeitung

Zur Darstellung wichtiger Prozesse und Aspekte auditiver Informationsverarbeitung soll nachfolgend zunächst aus kognitionspsychologischer Perspektive die Arbeitsweise des Gedächtnisses beschrieben und auf das Lernen mit Medien sowie auf die Konstruktion mentaler Modelle bezogen werden (Kap. 2.1). Aufbauend auf diesen Erkenntnissen kann dann die mathematikdidaktische Perspektive eingenommen (Kap. 2.2) sowie pädagogische Förderperspektiven für das Hörverstehen und die Zuhörkompetenz aufgezeigt werden (Kap. 2.3).

2.1 Kognitionspsychologische Perspektive

Die Kognitionspsychologie beschreibt in ihren Theorien zum medialen und multimedialen Lernen mithilfe von Gedächtnismodellen die kognitiven Prozesse zur unterschiedlichen, multimodalen Informationsverarbeitung (zusammenfassend z.B. Mayer, 2021). Beispiele solcher Theorien sind Paivio's Dual-Coding Theorie (1986) und Baddeley's Working Memory Model (1992), in dem visuelle und auditive Informationen in zwei verschiedenen Systemen verarbeitet werden. Bevor das auditive Lernen speziell im Mathematikunterricht sowie die Eigenschaften und fachdidaktischen Einsatzmöglichkeiten auditiver Medien betrachtet werden können, sollen im Folgenden kognitionspsychologische Grundlagen auditiver Informationsverarbeitung erläutert werden. Dazu gehört die Darstellung eines Multi Memory Systems, in dem auditive (wie auch alle anderen) Informationen wahrgenommen, verarbeitet und gespeichert werden, sowie kognitionspsychologische Grundannahmen über das Lernen und über Bedingungen für eine erfolgreiche Informationsverarbeitung. Es werden die kognitiven Voraussetzungen für Hörverstehen und das Lernen mit auditiven Medien dargestellt und darauf aufbauend methodisch-didaktische Konsequenzen abgeleitet.

2.1.1 Multi-Memory-System

Wenn Lernende geschriebene oder gesprochene Sprache rezipieren und verstehen, konstruieren sie mentale Repräsentationen in einem kognitiven Informationsverarbeitungssystem mit spezifischem modalen Aufbau (Abb. 1). Forschungsergebnisse der Kognitionspsychologie haben gezeigt, dass dieses Multi-Memory-System aus mehreren Teilsystemen besteht: dem sensorischen Register, dem Arbeitsgedächtnis, welches früher als Kurzzeitgedächtnis bezeichnet wurde, und dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 2007). Diese Gedächtnissysteme haben unterschiedliche Funktionen im Prozess der Informationsverarbeitung.

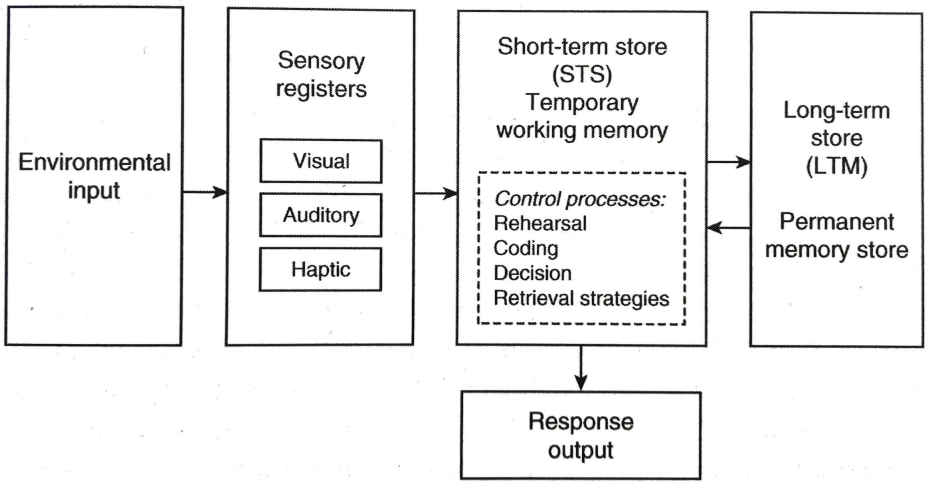


Abbildung 1: Modales Informationsverarbeitungsmodell des menschlichen Gedächtnisses (entnommen aus Baddeley, 2007, S. 3)

Das *sensorische Register* wird beschrieben als ein Gedächtnis von flüchtiger Natur (Grabowski, 2007). Es enthält alle Informationen, die durch die Sinnesorgane erfasst werden. Allerdings bestehen diese hier nur für weniger als eine (bis ein paar wenige) Sekunde(n). Nur der kleine Anteil an Informationen, auf den selektiv die Aufmerksamkeit gerichtet wird, wird in das Arbeitsgedächtnis überführt. Akustische Informationen bleiben also nur für wenige Sekunden im sensorischen Gedächtnis und gehen dann wieder verloren – noch bevor sie für die Speicherung enkodiert werden können. Dieser Unterschied zwischen Hören und Zuhören wird in Kapitel 2.3 ausführlicher betrachtet.

Im *Arbeitsgedächtnis* können Informationen für die Bearbeitung kognitiver Aufgaben kurzzeitig gespeichert und manipuliert werden (Baddeley, 2007). Bewusst wahrgenommene Reize, auf welche Aufmerksamkeit gerichtet wurde, werden durch Informationsbearbeitung (Elaboration) aufrechterhalten und ins Langzeitgedächtnis überführt. Passiert dies nicht, verfallen die Informationen wieder – bereits nach 20 Sekunden oder schneller. Steigt die Anzahl der Informationselemente im Arbeitsgedächtnis, so verlangsamt sich der Prozess des Abrufs und die Leistung lässt nach. Aus diesem Grund spricht Baddeley von einem „limited capacity temporary storage system that underpins complex human thought“ (Baddeley, 2007, S. 6f.). Die Annahme einer begrenzten Kapazität ist Grundlage für weitere Annahmen und Konsequenzen für das Lernen mit Medien (Kap. 2.1.3). Durch die Speicherung von Aufgabeninhalten und den Abruf von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis, die für die Behandlung einer Aufgabe relevant sind, erfüllt das Arbeitsgedächtnis eine wichtige Rolle beim bewussten Lösen von Aufgaben und somit beim Denken (Grabowski, 2007). Oft wird es als eine Art Wandtafel oder Arbeitsplattform konzeptualisiert, „auf welcher der menschliche Geist

diese Prozesse durchführt und Zwischenergebnisse für die spätere Wiederverwendung notiert“ (Grabowski, 2007, S. 361). Das Arbeitsgedächtnis ist damit bedeutsam für verschiedenste Aufgaben und Prozesse wie dem Kopfrechnen, dem Lösen geometrischer Analogien sowie der Beantwortung von Fragen zu verbalen Informationen (in mündlicher oder schriftlicher Form). Hier müssen in sprachverarbeitenden Prozessen neue Sätze bewusst mit vorangegangenen Sätzen oder Passagen in Verbindung gebracht werden oder am Satzende noch der Satzanfang erinnert und verknüpft werden. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses gilt weiterhin als wichtige individuelle Voraussetzung erfolgreichen Spracherwerbs (z.B. Hasselhorn, 2017). Informationen werden in diesem System „bevorzugt akustisch enkodiert, wenngleich auch ein visueller Kode Verwendung finden kann“ (Grabowski, 2007, S. 365). Hierbei spielt auch die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne eine Rolle, durch die zwischen bedeutungsunterscheidenden Einheiten der gesprochenen Sprache differenziert werden kann und die deshalb eine hohe Bedeutung sowohl für das sinnverstehende Hören und den eben genannten Prozess der Enkodierung aufweist als auch für den Erwerb von Zahlwortfolge, Zählfertigkeiten und anderen mathematischen Basiskompetenzen (Röhm et al., 2017). Doch auch andere (und allgemeinere) sprachliche Kompetenzen stehen im engen Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis, weshalb Röhm et al. (2017) schlussfolgern, dass sich aus dieser „Verwobenheit sprachlicher und mathematischer Entwicklungsprozesse“ (Röhm et al., 2017, S. 91) im Arbeitsgedächtnis – und hinsichtlich Arbeitsgedächtnisressourcen – Überlegungen für Arbeitsgedächtnis-Entlastungen bei der Bearbeitung mathematischer Aufgaben ableiten ließen – etwa um sprachauffällige Kinder in ihren mathematischen Fähigkeiten zu fördern. Wie dies aussehen kann, soll in Kap. 4.4 beschrieben werden.

Während der Elaboration im Arbeitsgedächtnis kommt es zu einem Abgleich der aktuell verfügbaren Information mit den Inhalten des dritten Speichersystems, dem *Langzeitgedächtnis*. Dieses stellt einen (nahezu) unbegrenzt aufnahmefähigen und zeitüberdauernden Speicher für diejenigen Informationen dar, die durch verschiedene Arten von Elaborationsprozessen aus dem Arbeitsgedächtnis überführt wurden und aufgrund der erfolgreichen Elaboration letztendlich behalten werden. Bei Abruf können Informationen in das Arbeitsgedächtnis zurückgestellt werden, wo sie bearbeitet und für Aufgaben verwendet werden können. Das Langzeitgedächtnis kommt ins Spiel, wenn Informationen für einige Minuten (z.B. in Gesprächen) bis hin zu einem lebenslangen Zeitintervall (Erinnerungen) gespeichert werden sollen (Grabowski, 2007, S. 365). Dazu wird die Repräsentationsform manipuliert: „Knowledge is held in a schematic form in long-term memory whether it is pictorial or verbal, written, or spoken” (Sweller, 2005, S. 21). In Anlehnung an Piaget wird der

Verarbeitungs- und Lernprozess als Schemakonstruktion und Schemaautomatisierung beschrieben. Vorhandene Schemata werden aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen und im Arbeitsgedächtnis mit neuen Informationen ergänzt, erweitert, umstrukturiert oder vernetzt. Auf diese Weise werden neue Schemata konstruiert, die dann im Langzeitgedächtnis abgespeichert werden können (Sweller et al., 1998).

Längere sprachliche Informationen wie ganze Sätze werden im Langzeitgedächtnis also meist weder in akustischer noch visueller Form gespeichert, sondern als semantische Repräsentation, die auf der Bedeutung der Informationselemente beruht. Man spricht hier von bedeutungsbezogener Kodierung (Grabowski, 2007, S. 365). Es wird also nicht Wort für Wort der ganze Satz oder mehrere Sätze gespeichert, sondern die Bedeutung der Äußerung. Isolierte Wörter werden teilweise semantisch, häufig aber auch akustisch gespeichert (Bsp. Vokabeln), sodass man auch von lexikalischer Organisation sprechen kann. Selbst bei langen Einheiten ist akustische Kodierung möglich: Gedichte beispielsweise können wörtlich gemerkt und exakt rezitiert werden. Lernen wird definiert als „alteration in long-term memory" (Sweller, 2005, S. 20). Was nicht ins Langzeitgedächtnis enkodiert wurde, ist also nicht gelernt.

Die drei Phasen des Gedächtnisprozesses

Sowohl im Arbeitsgedächtnis als auch im Langzeitgedächtnis finden drei Phasen des Gedächtnisprozesses statt: die Enkodierung, die Speicherung und der Abruf (Grabowski, 2007). Enkodierung und Abruf aktivieren dabei unterschiedliche Hirnregionen.

In der Phase der *Enkodierung* werden Informationen aus der Umwelt in bedeutungshaltige Einheiten überführt und gespeichert (Grabowski, 2007). Wird beispielsweise bei einer Vorstellungsrunde ein Name genannt, so ist dieses gesprochene Wort zunächst ein rein physikalischer Impuls (Schallwellen), der durch die Sinnesorgane (Sinneszellen im Innenohr) aufgenommen und in einen Kode umgewandelt wird, den das zentrale Nervensystem verarbeiten kann (phonetischer Kode). Das Ergebnis eines solchen Verarbeitungsprozesses ist dann eine Repräsentation, die im Gedächtnis gespeichert werden kann. Im Falle der Äußerung eines Begriffs und der gleichzeitigen Darbietung des betreffenden Gegenstandes (oder im eben genannten Beispiel bleibend: der Vorstellung einer unbekannten Person) wird gleichzeitig zum akustischen Prozess das Lichtmuster des Benannten in eine visuelle Repräsentation umgewandelt, sodass beide Repräsentationen miteinander verknüpft werden können (Grabowski, 2007). Wird das Benannte erneut präsentiert, können passend zum Benannten das Wort bzw. passend zum Wort das Benannte abgerufen werden.

Die Phase der *Speicherung* bezeichnet das Aufrechterhalten von Informationen. Findet im Arbeitsgedächtnis eine weitere Informationsbearbeitung, eine Form der Elaboration statt, so kann dadurch die Information ins Langzeitgedächtnis überführt werden (Grabowski, 2007). Eine mögliche Form der Elaboration ist das Chunking, das Gruppieren von Elementen, sodass die Menge an zu speichernden Elementen verringert wird (Mayer, 2005, S. 38). Ein klassisches Beispiel für das Chunking stellt das Gruppieren von Zahlen in Telefonnummern dar. Statt vieler einzelner Ziffern müssen auf diese Weise nur noch wenige Chunks gespeichert werden. Eine weitere Möglichkeit für Elaboration ist das Übertragen auditiver Information in ein visuelles Bild (Grabowski, 2007). Wenn Lernende sich zu einem Inhalt, der ihnen rein auditiv präsentiert wird, mental Vorstellungsbilder selbst aufbauen, betreiben sie Elaboration. Es lässt sich also schlussfolgern, dass die Speicherung auditiver Information unterstützt werden kann, wenn visuelle bzw. mentale Vorstellungsbilder erfolgreich konstruiert werden.

Der *Abruf* bezeichnet abschließend die Wiedergewinnung gespeicherter Information. Durch sequentielle Suche können Informationen im Langzeitgedächtnis gefunden und dem Kurzzeitgedächtnis zur Verfügung gestellt werden. Fehler können in jeder Phase geschehen. Ein Name beispielsweise kann aus drei Gründen vergessen werden (Grabowski, 2007):

- Fehlerhafte Enkodierung: Das Gesicht wurde nicht gut eingeprägt; es wurde nicht richtig zugehört oder gelesen.
- Fehlerhafte Speicherung: Es wurde nicht (richtig) elaboriert, sodass schon beim Vorgang des Speicherns die Information verloren gegangen ist.
- Der Abruf funktioniert aus einem bestimmten Grund nicht.

Das Enkodieren und Elaborieren von Informationen sind also wichtige Voraussetzungen für das Lernen und Behalten von Wissen und das Überführen dieser ins Langzeitgedächtnis als „automated schemas“ sollte das primäre Ziel didaktischer Instruktion sein (Sweller, 2005). Dazu müssen die Bedingungen des Arbeitsgedächtnisses und der Gedächtnisprozesse beachtet werden. Wird beispielsweise die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bei der Aufnahme und Verarbeitung neuer Informationen ignoriert, können Aufgaben und Unterrichtsdesigns ihre Ziele verfehlen und an Effektivität einbüßen. „Instructional designs that ignore working memory limitations are likely to be random in their effectiveness” (Sweller 2005, S. 22). Wird die begrenzte Kapazität jedoch mit in didaktische Entscheidungen einbezogen, kann ein wichtiger Aspekt erreicht werden: „to overcome the inevitable limitations of working memory” (Sweller, 2005, S. 23).

Diese und zwei weitere „cognitive science principles of learning“ nutzt Mayer (2005) als Grundannahmen für seine „Cognitive Theory of Multimedia Learning“ und fasst sie mit Verweis auf ihre Herkunft zusammen (Abb. 2.).

Assumption	*Description*	*Related citations*
Dual channels	Humans possess separate channels for processing visual and auditory information	Paivio (1986), Baddeley (1986, 1999)
Limited capacity	Humans are limited in the amount of information that can be processed in each channel at one time	Baddeley (1986, 1999), Chandler & Sweller (1991)
Active processing	Humans engage in active learning by attending to relevant incoming information, organizing selected information into coherent mental representations, and integrating mental representations with other knowledge	Mayer (2001), Wittrock (1989)

Abbildung 2: Three Assumptions of a Cognitive Theory of Multimedia Learning (entnommen aus Mayer, 2005, S. 34)

Auch wenn auditives Lernen kein multimediales Lernen ist, können seine Besonderheiten gut im Vergleich und in Abgrenzung zu ebendiesem dargestellt werden. Im Folgenden sollen also diese drei Annahmen auch für das monomediale Lernen mit auditiven Medien in den Blick genommen werden.

2.1.2 Dual Channels

Die Kognitionspsychologie unterscheidet verschiedene, voneinander getrennte Sinneskanäle, durch die das menschliche Gehirn Informationen verarbeiten kann. Paivio (1986) spricht in seiner “dual-coding theory” von einem sprachlichem und einem visuellen System, welche verschiedene Formen und mentale Kodes aufweisen. Basierend auf Paivio’s Theorie und Baddeley’s “model of working memory” (Baddeley, 1992) formuliert Mayer (2005, S. 33) mit der „dual-channel assumption“ die Annahme, dass auditive und visuelle Reize bzw. Informationen auf diesen beiden Kanälen („auditory/verbal channel and a visual/pictorial channel“) getrennt voneinander verarbeitet werden. Das “multimedia principle” besagt, dass besser und nachhaltiger gelernt werden kann, wenn beide Kanäle angesprochen werden (Mayer, 2005, S. 31). Warum auch die monomediale Darstellung auditiver Medien positive Effekte haben kann, soll in den folgenden Ausführungen dargestellt werden.

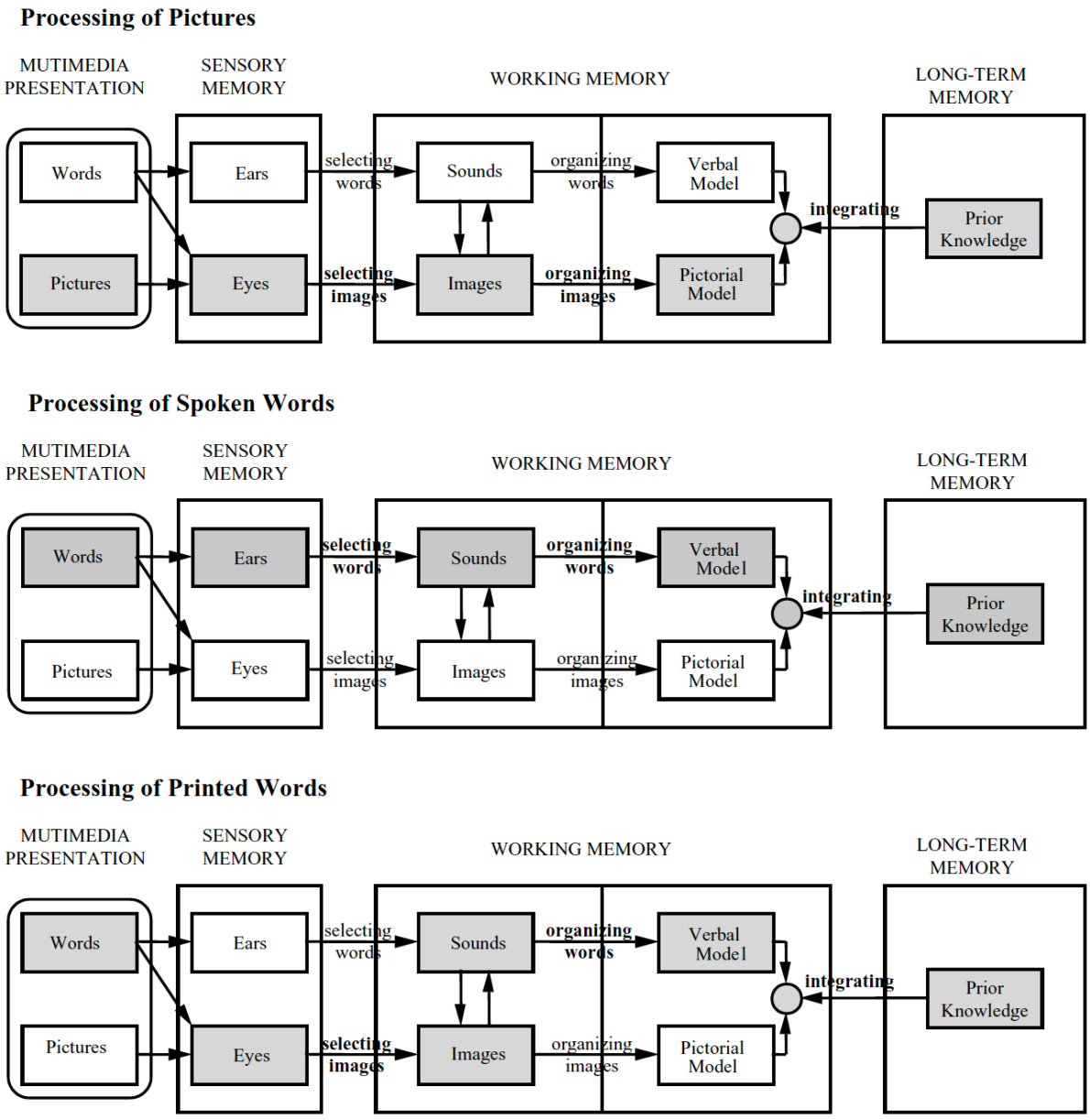


Abbildung 3: Verarbeitung auditiver und visueller Reize in den jeweiligen Sinneskanälen (entnommen aus Mayer, 2005, S. 43)

Wie Abbildung 3 zeigt, werden (a) visuelle Reize in Form von Bildern im visuellen Kanal verarbeitet, (b) verbale Reize im auditiven Kanal und (c) Schriftsprache zuerst im visuellen und dann im auditiven Kanal. Der Unterschied zwischen den Kanälen kann aus zwei Perspektiven beschrieben werden: über den Präsentationsmodus und über die sensorische Modalität (Mayer, 2005, S. 34). Der Präsentationsmodus stellt das Format des präsentierten Stimulus (verbal oder nonverbal) dar. Die sensorische Modalität fokussiert den Stimulus, wie er im Arbeitsgedächtnis repräsentiert ist (auditorisch oder visuell). Es folgt eine Verarbeitungskette, innerhalb derer es fünf Formen der Repräsentation von Wissen gibt (2005, S. 42): Die erste Form ist die mediale oder tatsächliche Repräsentation von Worten und Bildern (z.B. Schallwellen). Im sensorischen

Register werden diese als akustische und visuelle Repräsentationen registriert und dann im Arbeitsgedächtnis zuerst selektiv zu Sounds bzw. Images enkodiert und dann zu mentalen verbalen bzw. visuellen Modellen organisiert. Im Langzeitgedächtnis ist bereits Gelerntes als abrufbares Vorwissen in Form von Schemata abgespeichert.

Die Pfeile zwischen Sounds und Images stellen die Umwandlung oder Verknüpfung auditiver und visueller Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis dar. Wird beispielsweise ein bestimmtes Wort (eine Information, die zuerst im auditiven Kanal verarbeitet wird) gehört, kann im visuellen Kanal auch ein zugeordnetes mentales Bild geformt werden (Mayer, 2005, S. 35). Umgekehrt können Wörter oder Objekte, die über den visuellen Kanal verarbeitet werden, auch in einen mentalen Sound umgewandelt werden. Dies führt dazu, dass man Wörter innerlich hören kann, die man liest oder Personen innerlich vor sich sieht, über die man spricht. Paivio (1986) spricht hier von "cross-channel representations of the same stimulus". Für diese Umwandlung werden kognitive Ressourcen benötigt (Mayer, 2005, S. 3 5). Welche Art von cognitive load diese Herausforderung darstellt und welche Rolle dies für das Lernen mit auditiven Medien hat, wird im nachfolgenden Kapitel erläutert.

Die wichtigsten kognitiven Prozesse der Informationsverarbeitung sind durch die beschrifteten Pfeile dargestellt: selecting words/ imgages / organizing words/ images und integrating. Diese beschreiben die fünf kognitiven Prozesse, die nach der ‚Cognitive Theory of Multimedia Learning' (Mayer, 2005) bei der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis koordiniert werden müssen und im S-O-I Modell (Selektion – Organisation – Integration) zusammengefasst werden (Abb. 4).

Process	*Description*
Selecting words	Learner pays attention to relevant words in a multimedia message to create sounds in working memory
Selecting images	Learner pays attention to relevant pictures in a multimedia message to create images in working memory
Organizing words	Learner builds connections among selected words to create a coherent verbal model in working memory
Organizing images	Learner builds connections among selected images to create a coherent pictorial model in working memory
Integrating	Learner builds connections between verbal and pictorial models and with prior knowledge

Abbildung 4: Five Cognitive Processes in the Cognitive Theory of Multimedia Learning (entnommen aus Mayer, 2005, S. 41)

Von diesen fünf kognitiven Prozessen sind – wie in der mittleren Darstellung von Abbildung 3 zum ‚Processing of Spoken Words' zu erkennen – drei für das monomediale Lernen mit

auditiven Medien relevant und sollen im Folgenden genauer beschrieben werden (Mayer, 2005, S. 38-41).

- *Selecting words*: Im ersten Teilprozess werden Informationen von ihrer extern präsentierten Form (als gesprochenes Wort) zu einer mentalen Repräsentation (Sound) im auditiven Arbeitsgedächtnis (phonologischer Speicher) enkodiert. Dies geschieht durch die phonologische Schleife, deren Funktionsweise und Bedeutung nachfolgend noch genauer beschrieben wird (Abb. 4). Aufgrund der begrenzten Kapazität beider Kanäle des kognitiven Systems, können nicht alle Informationen bzw. gesprochenen Wörter im phonologischen Speicher repräsentiert werden. Lernende müssen also relevante Wörter und Phrasen bestimmen und nehmen durch diese selektierende Tätigkeit die Rolle eines „active sense maker[s]" ein (Mayer, 2005, S. 38).
- *Organizing words:* Im nächsten Teilprozess werden die selektierten Wörter in einer kohärenten Repräsentation organisiert. In diesem Prozess wird die Darstellung auf der Grundlage des Klanges zu einer Darstellung auf der Grundlage der Wortbedeutung umgewandelt. Dies nennt Mayer das „verbal model" (Mayer, 2005, S. 40), welches immer noch den begrenzten Kapazitäten des Arbeitsgedächtnis unterliegt und deshalb eine möglichst simple Struktur aufweist bzw. aufweisen muss. Selektierte verbale Komponenten können beispielsweise durch das Herstellen einfacher Kausalverbindungen organisiert werden.
- *Integrating*: Im letzten und vermutlich wichtigsten Prozess werden verbale und visuelle Repräsentationen miteinander sowie mit Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis verknüpft. Auf diese Weise wird ein integriertes Modell generiert. Dieser Prozess findet sowohl im auditiven als auch im visuellen Kanal statt und beinhaltet deshalb die Koordination zwischen beiden. „This is an extremely demanding process that requires the efficient use of cognitive capacity. The process reflects the epitome of sense making because the learner must focus on the underlying structure of … representations" (Mayer, 2005, S. 40).

In diesem letzten Prozess wird der Unterschied von auditivem (monomedialem) zu multimedialem Lernen deutlich: Beim multimedialen Lernen wird beiden Kanälen Input gegeben, der zuerst separat verarbeitet und dann zu einem integrierten Model vereinigt wird. Da beim auditiven Lernen kein visueller Input gegeben wird, kann der visuelle Kanal kein visuelles Model liefern. Für ein integriertes Modell muss der Lernende also das visuelle Modell passend zu seinem verbalen Model selbst konstruieren. Da der visuelle Input als Informationsbaustein fehlt, steigt die Bedeutung eines korrekten und möglichst detailliert

aufgebauten verbalen Modells und damit die Herausforderung für die auditiven Verarbeitungsprozesse. Um diese Herausforderung und das Potenzial, das diese birgt, besser nachvollziehen zu können, sollen die auditiven Verarbeitungsprozesse im Arbeitsgedächtnis nachfolgend detaillierter betrachtet werden.

Auditory working memory

Wie schon erwähnt ist das Arbeitsgedächtnis der Ort, an dem Informationen für die Bearbeitung kognitiver Aufgaben kurzzeitig gespeichert und manipuliert werden. Mayer spricht bzgl. der Verarbeitungsprozesse im Arbeitsgedächtnis von „processing that involves conscious awareness“ (Mayer, 2005, S. 38). Zwar können im Langzeitgedächtnis große Mengen an Wissen über lange Zeiträume gespeichert werden, doch um aktiv über dieses Material nachzudenken oder es zu nutzen, muss es abgerufen und wieder ins Arbeitsgedächtnis gebracht werden (Mayer, 2005). Für die Beschreibung dieses Speichers hat sich ein von Baddeley (1986) ausgearbeitetes Modell bewährt, in dem von einem System mit mehreren Komponenten ausgegangen wird (Abb. 5): Dies besteht laut Baddeley aus dem „attentional controller“ (Baddeley, 2007), der zentralen Exekutive, sowie aus drei temporären Speichersystemen – dem visuellen Notizblock, der phonologischen Schleife und dem episodischen Puffer, einem eher allgemein integriertem Speichersystem. Alle drei temporären Speichersysteme unterstehen nach Baddeley der zentralen Exekutive und sind in ihrer Kapazität begrenzt.

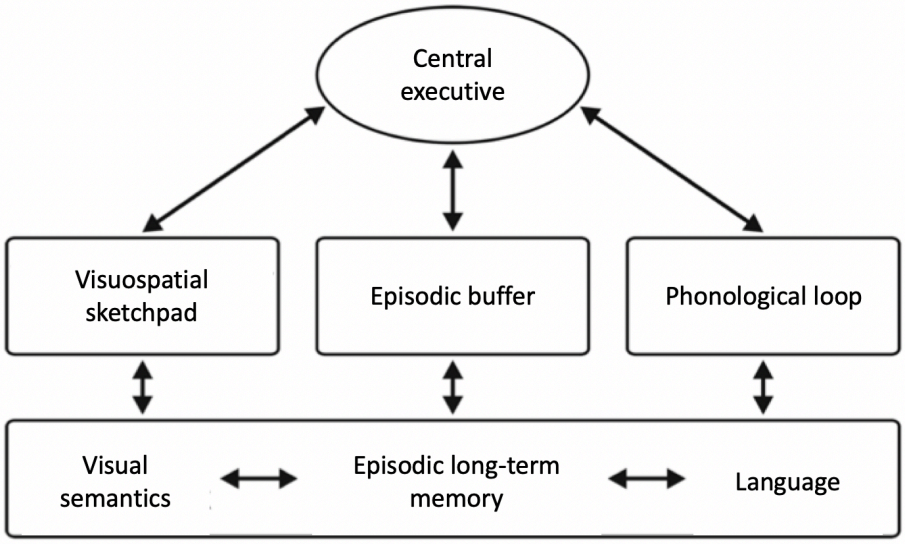


Abbildung 5: Modell des Arbeitsgedächtnisses (in Anlehnung an Baddeley 2007, S.147)

Der visuell-räumliche Notizblock („visuospatial sketchpad“) dient der Aufnahme und Bearbeitung visuell-räumlicher Informationen, die hier in einem klaren mentalen Bild dargestellt werden, indem mental agiert werden kann (Baddeley, 2007). In der phonologischen Schleife werden verbale Informationen durch Wiederholung gespeichert (Abb. 6). Die zentrale Exekutive koordiniert die verschiedenen Arbeitsvorgänge und Leistungen einschließlich der selektiven Aufmerksamkeit und des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis. Es dient außerdem als das System, welches übernimmt, wenn einer der beiden Speichersysteme überlastet ist (Wiley et a., 2014). In der Multimedia-Literatur wird häufig untersucht, wie durch verschiedene Präsentationsformen (also die Nutzung beider Systeme) die Leistung der Rezipient:innen maximiert werden kann – ein Effekt der als Modality Principle bezeichnet wird (Low & Sweller, 2005). Den episodischen Puffer bezeichnet Baddeley als Schnittstelle zwischen den drei Speicher-Subsystemen und dem Langzeitspeicher und damit als eine Art Verbindungs-Mechanismus, zwischen den beiden Modalitäten (Baddeley, 2007). Baddeley geht davon aus, dass der Mensch bewusst auf diesen Speicher zugreifen kann, wodurch er zu einer Art „workspace“ wird (Baddeley, 2007, S. 13). Über den begrenzten episodischen Puffer kann auf das nahezu unbegrenzte Langzeitgedächtnis zugegriffen werden.

Neuere Forschungsergebnisse bestätigen zwar die Existenz der beiden größtenteils unabhängigen Subsysteme, finden jedoch wenig Beweise für die koordinative Rolle der zentralen Exekutive (Sweller, 2005, S. 23). Stattdessen wird in der aktuellen Diskussion die Ansicht vertreten, dass der Mensch nicht über eine logische zentrale Exekutive verfügt, sondern neue Informationen durch bereits generierte Schemata des Langzeitgedächtnisses organisiert werden: „In other words, organised information in longterm memory directs the manner in which information is processed in working memory“ (Sweller, 2005, S. 25). Damit werden die Schemata des Langzeitgedächtnisses zur zentralen Exekutive. Auch Informationen, die von außerhalb zur Verfügung gestellt werden, können diese Rolle übernehmen. Wenn kein Schema verfügbar ist, müssten Informationen zufällig organisiert und diese Strukturen auf Effektivität getestet werden – was einen großen kognitiven und zeitlichen Aufwand darstellen würde. Stattdessen können von außerhalb zur Verfügung gestellte Schemata (vorstrukturiertes Wissen anderer in gesprochener oder schriftlicher Form) genutzt werden, um neue Informationen zu organisieren (Sweller, 2005, S. 26). Diese Strukturen sind zentral für die ‚cognitive load theory‘ (Sweller et al., 1998), nach welcher Instruktionen so eingesetzt werden sollen, dass sie beim Umgang mit neuen Informationen einen Ersatz für die fehlende zentrale Exekutive darstellen. Dies stellt den Grundsatz aller Prinzipien für das Lernen mit Medien dar (Mayer, 2021) und soll auch für das Lernen mit auditiven Medien in den Blick genommen werden.

Eine weitere wichtige Rolle für das Lernen mit auditiven Medien spielt das dritte temporäre Speichersystem, die phonologische Schleife, welche deshalb im Folgenden ausführlicher betrachtet werden soll – insbesondere im Hinblick auf den Spracherwerb. Mayer stellt die Verarbeitungsprozesse auditiver Information im Arbeitsgedächtnis (wie schon in Abb. 3 aufgezeigt) getrennt von den Verarbeitungsprozessen visueller Information dar, die teilweise unabhängige Systeme darstellen. Er nutzt hierzu den Begriff „auditory working memory" (Mayer, 2005, S. 35). Die phonologische Schleife ist die Komponente des auditiven Arbeitsgedächtnisses, in dem sprachliche und akustische Informationen verarbeitet und als mentale Repräsentation (Sound) in einem temporären phonologischen Speicher abgelegt werden (Sweller, 2005). Mit zunehmender Schriftsprachbeherrschung liefert dieser Speicher auch eine visuelle mentale Repräsentation von Sprachcodes. Visuell dargestellte Informationen wie Buchstaben oder Schrift, aber auch Objekte, werden in der phonologischen Schleife rekodiert, in einen akustischen Kode umgewandelt und abgespeichert (Hasselhorn, 2017). Baddeley nennt dies einen „acoustic memory trace, with visually presented items being converted into an acoustic code by subvocalization" (S. 8).

Der phonologische Speicher nimmt jeden akustischen und sprachlichen Reiz wie ein Echo-Gedächtnis in einer Art Endlos-Schleife ins Gedächtnissystem auf, hat jedoch nur eine zeitliche Kapazität von wenigen Sekunden (Hasselhorn, 2017). Ohne weitere Verarbeitungsprozesse werden nach Ablauf dieser kurzen Zeit die alten Informationen mit neuen Einträgen überschrieben. Dies kann durch die Funktionsweise der zweiten Komponente, dem Rehearsal, verhindert werden, welches als eine Art innerer Nachsprechprozess verstanden werden kann. Dieser sorgt dafür, „dass die Information, die in den Speicher gelangt ist und von der die zentrale Exekutive signalisiert, dass es relevante Information ist, auch für größere Zeiträume präsent gehalten wird" (Hasselhorn, 2017, S. 4). Durch den subvokalen Wiederholungsprozess in der phonologischen Schleife (wiederholte innere Artikulation) kann die phonologische Form also länger im phonologischen Speicher verfügbar gemacht werden (Baddeley, 2007). Dies gibt dem Arbeitsgedächtnis die Möglichkeit, wichtige Informationen durch die Anwendung notwendiger Formen der Elaboration in das Langzeitgedächtnis zu überführen. Die phonologische Schleife nimmt also eine entscheidende Funktion in Bezug auf Sprachverständnis und Wortschatzerwerb allgemein ein und spielt außerdem auch eine Rolle beim Erwerb von Zahlwortfolge und Zählfertigkeiten sowie anderen numerischen Kompetenzen, was in verschiedenen Studien nachgewiesen werden konnte (Schröder et al., 2016). Röhm et al. (2017) beispielsweise untersuchten die Bedeutung der phonologischen Schleife hinsichtlich der Sprach- und Rechenkompetenzen und fanden „einen mittelhohen,

signifikanten, indirekten Effekt der phonologischen Schleife auf die mathematischen Basiskompetenzen über die sprachlichen Fertigkeiten sowie einen sehr hohen, signifikanten, indirekten Effekt der phonologischen Schleife auf die mathematischen Basiskompetenzen über die zentrale Exekutive“ (Röhm et al., 2017, S. 81). Mit diesem Ergebnis stützen sie den Erklärungsansatz zum gemeinsamen Zusammenspiel von Arbeitsgedächtnis und Sprache hinsichtlich mathematischer Basiskompetenzen.

Verarbeitung von Information zu einer mentalen Repräsentation erfolgt im Arbeitsgedächtnis meistens auditiv, während die Enkodierung im Langzeitgedächtnis dann semantisch (also über Bedeutung) vorgenommen wird (Schnotz und Bannert, 2003). Verbale Informationen können also sofort phonologisch abgespeichert werden, während schriftliche Informationen zuerst durch inneres Sprechen bzw. Verbalisieren in eine phonetische Form transformiert werden müssen, bevor sie im phonologischen Speicher abgelegt werden können (Abb. 6).

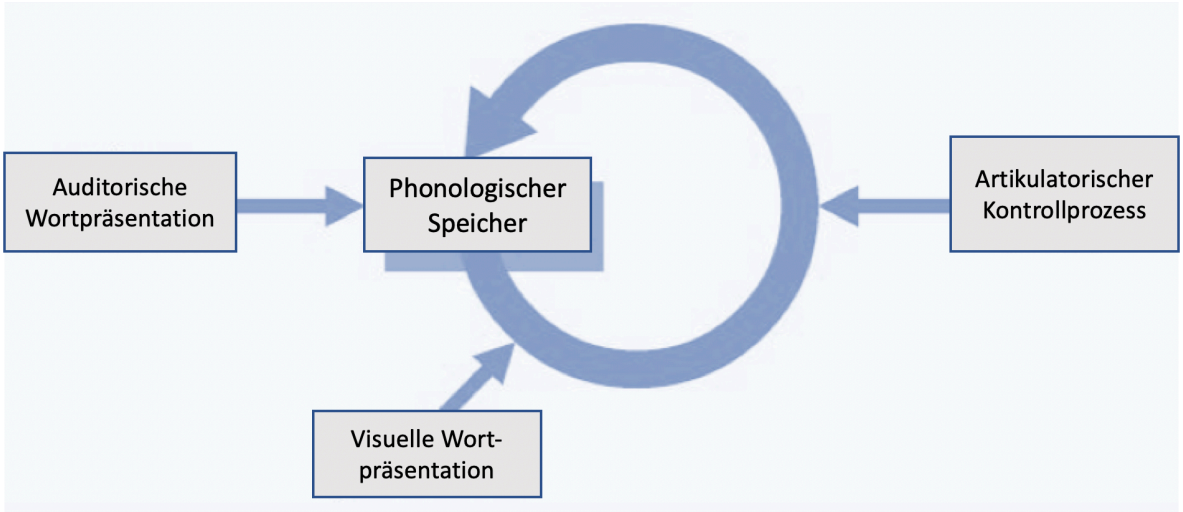


Abbildung 6: Die phonologische Schleife‘(in Anlehnung an Baddeley, 2007)

Schriftliche Informationen gehen ohne Verbalisierung viel schneller verloren als auditive Informationen. Hier kann ein Potenzial auditiven Lernens liegen, da den Lernenden der Prozess des (De-)kodierens erspart wird und Informationen mit weniger kognitivem Aufwand verarbeitet werden können. Dies ist im Sinne der „limited capacity assumption“ – der zweiten der drei „cognitive science principles of learning“ (Mayer, 2005).

2.1.3 Limited Capacity

Kern der *limited capacity assumption* ist der Folgende: “Humans are limited in the amount of information that can be processed in each channel at one time” (Mayer, 2005, S. 34). Die Menge und Beschaffenheit der Informationen, die den beiden Sinneskanälen präsentiert werden, stellen

die mentale Belastung dar, den „cognitive load“, der dem Arbeitsgedächtnis auferlegt wird (Sweller, 2005, S. 28). Von dem cognitive load, der sich in einer Lernsituation zeigt, ist der Erfolg von Lernprozessen und damit des Wissenserwerbs abhängig (Sweller et al., 1998). Je höher die mentale Belastung bei der Informationsaufnahme, desto mehr kognitive Ressourcen werden für das Behalten und Integrieren dieser Informationen benötigt. Diese kognitiven Ressourcen stehen dann dem eigentlichen Wissenserwerb nicht mehr zur Verfügung, sodass der Wissenserwerb bei kognitiver Überlastung sinkt. Die *limited capacity assumption* wurde interessanterweise sowohl genutzt, um Vorteile multimedialen Lernens im Vergleich zum Lernen mit Bild oder Text (mündlich oder schriftlich) allein zu beschreiben als auch um Nachteile aufzuzeigen (Wiley et al., 2014). Als Alternative dazu diskutieren Wiley et al (2014). einen neueren Ansatz, der die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses als eine Variable mit individuellen Unterschieden sieht, welche die Aufmerksamkeitskontrolle repräsentiert. Sie sprechen von „trait of individuals in relation to their ability to use their working memory system” (Wiley et al., 2014, S. 600). Fakt ist, dass ein Überladen der begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnis, die dem Lernenden zur Verfügung stehen, das Lernen ausbremsen kann und dass dies bei der Gestaltung und Entwicklung von Lernumgebungen und medialer Instruktion beachtet werden muss (Mayer, 2021).

Mit dem Modality-Effekt wird beschrieben, dass in multimedialen Darstellungen durch das Ansprechen beider Modalitäten (auditiv und visuell) cognitive load reduziert und somit die Effektivität der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erhöht werden kann (Low & Sweller, 2005). Gemeint ist hierbei der cognitive load, der durch ‚split attention‘ (Ayres & Sweller, 2021) entsteht, wenn in einer multimedialen Darstellung zwei visuelle Darstellungen (z.B. Bild und geschriebener Text) miteinander um die Kapazitäten im visuellen Sinneskanal bzw. Arbeitsgedächtnis konkurrieren. In diesem Fall wäre der visuelle Kanal überlastet. Effizienter wäre die Kombination Bild und gesprochener Text, da in diesem Fall die Verarbeitung des Textes auf den auditiven Kanal verlagert, somit das Arbeitsgedächtnis entlastet wird und die Effektivität steigt. Diese Zunahme ist jedoch nicht additiv in dem Sinne, dass alle Informationen, die vom auditiven Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden, den gesamten vom visuellen Arbeitsgedächtnis verarbeiteten Informationen hinzugefügt werden können (Sweller, 2005). Trotzdem gibt es eine geringere, aber nachweisbare Zunahme. Diese Zunahme unterstützt sowohl die Hypothese von teilweise getrennten Prozessoren als auch den Modality-Effekt und kann für die Planung von Unterricht genutzt werden. Wenn der Unterricht so gestaltet ist, dass mehrere Prozessoren genutzt werden, kann das Lernen erleichtert werden (Low & Sweller, 2005).

Dieser Ansatz ist jedoch kein Argument gegen ‚single modality instruction', sondern soll *innerhalb* multimedialer Darstellungen für Nutzung von ‚dual-modality instruction' sprechen, um die eben dargestellte potentielle kognitiven Überlastung abzuwenden, die durch mehrere Darstellungen entsteht, die denselben Sinneskanal beanspruchen. Aufgrund der Beschränkung des Arbeitsgedächtnisses beim Umgang mit neuen Informationen, die gelernt werden müssen, kann es schnell dazu kommen, dass es zu viele Elemente gibt, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen (Sweller, 2005, S. 23). Dem kann durch die allein auditive Darstellung von Informationen in auditiven Medien als ‚single-modality instruction' entgegenwirkt werden, da auch hier weniger Elemente gleichzeitig verarbeitet werden müssen und somit der cognitive load auf die begrenzten Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses reduziert werden kann.

Drei Arten von Beanspruchung der kognitiven Kapazitäten

Zentrale Annahme der cognitive load theory (die auf der dual channel und der limited capacity assumption beruht) ist, dass beim Lernen die Entstehung von (Über-)Beanspruchung der begrenzten kognitiven Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses auf drei verschiedene Arten möglich ist. Sweller et al. (1998, S. 259) benannten hier die Folgenden:

- *intrinsic cognitive load:* die Natur der zu lernenden Inhalte selbst – also Umfang, Komplexität, Element-Interaktivität (Anzahl der Elemente, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis aufrecht erhalten werden müssen, um Inhalte vollständig zu repräsentieren) und Bezug zum Vorwissen,
- *extraneous cognitive load:* die Art und Organisation der Informationspräsentation sowie die Aktivitäten, die von den Lernenden verlangt werden (Design des Lernmaterials),
- *germane cognitive load:* der Prozess der Informationsverarbeitung bzw. die kognitive Leistung, die zur Konstruktion von Schemata beiträgt.

Natürlich gibt es viele weitere – wie individuelle körperliche und psychische – Faktoren, die Einfluss auf das Lernen, und die Leistung des Arbeitsgedächtnisses haben. Sweller et al. (1998) geht es hier jedoch explizit um den „cognitive load imposed by instructionale designs" (S. 262) und wie mit diesen umgegangen werden soll. Lerner-bezogene Ressourcen lassen sich im Germane Cognitive verorten, da die Anforderungen an Informationsverarbeitungsprozesse beschrieben werden, die für jeden Lernenden je nach Ressourcen individuell ausfallen können. Umgebungsfaktoren wie die Sprache der Lehrkraft passen zum extraneous cognitive load, wobei es in der cognitive load theory eher um Darstellung und Gestaltung eines Mediums geht.

Hierzu gehören überflüssige und relevante Informationen, Wiederholungen, zahlreiche Verweise und multimediale Inhalte, die nur aus optischen Gründen eingebaut werden.

Mayer (2009) führt die drei Arten von cognitive load weiter aus als „three kinds of cognitive processing during learning, each of which draws on the learner's available cognitive capacity" (S.79). Er passt die Begrifflichkeiten an seine prozessbezogene Perspektive an und spricht deshalb von extraneous, essential und generative cognitive processing (Abb. 7).

Type	Definition	Processes
Extraneous processing	Cognitive processing that does not serve the instructional goal; caused by confusing instructional design	None
Essential processing	Cognitive processing required to represent the essential material in working memory; caused by the complexity of the material	Selecting
Generative processing	Cognitive processing required for deeper understanding; caused by motivation in the learner	Organizing and integrating

Abbildung 7: Three demands on cognitive capacity (entnommen aus Mayer, 2021, S. 51)

Mit ‚extraneous processing' übernimmt Mayer den Begriff von Sweller et al. (1998), richtet aber den Blick von den äußeren Bedingungen auf den Prozess, diese Bedingungen zu verarbeiten. Mit ‚essential processing' beschreibt er den Prozess, die wesentlichen Inhalte im Arbeitsgedächtnis zu repräsentieren – beeinflusst von dem, was von Sweller et al. (1998) ‚instrinsic load' genannt wurde. Durch den Begriff ‚generative processing' betont Mayer den wissensgenerierenden Aspekt dieses Prozesses, der durch das angeregt wird, was Sweller et al. (1998) als ‚germane load' bezeichnen. In den folgenden Ausführungen sollen die ursprünglichen Begrifflichkeiten von Sweller et al. (1998) verwendet werden.

Da der intrinsic cognitive load vom Vorwissen abhängt, ist er stark von individuumsinternen Bedingungen geprägt, von denen der Einfluss instruktionaler Designs abhängig ist. Über Maßnahmen der Binnendifferenzierung, wie beispielsweise die Segmentierung des Lernmaterials, kann der Intrinsic Load an die Zielgruppe angepasst werden (Sweller et al., 1998). Extraneous cognitive load kann durch unterschiedliche Präsentationen derselben Lerninhalte gesteuert werden. Aus mathematikdidaktischer Perspektive konnten Untersuchungen zur App ‚Sachrechnen 2.0' von Rink und Walter (2020) beispielsweise zeigen, dass bei unterschiedlicher Präsentationsform (Text; Text-Ton; Text-Ton-Bild) unterschiedliche Ergebnisse im Aufbau eines adäquaten Situationsmodells und damit im Verständnis der

Aufgabe erreicht werden konnten. Durch die zusätzlich zur schriftlichen Darstellung wählbaren Präsentationsformen konnte für Kinder mit Schwierigkeiten beim Lesen der extraneous cognitive load verringert werden.

Durch die Beanspruchung des germane cognitive loads kommt es zu „effortful learning resulting in schema construction and automation" (Sweller, 2005, S. 27). Interagierende Sinneinheiten können durch Schemata gemäß der bereits erläuterten Chunk-Bildung als komplexere Einheiten zusammengefasst und im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. So bleibt die beanspruchte kognitive Kapazität die gleiche – es können jedoch mehr Elemente gespeichert werden (Mayer, 2005). Auf diese Weise wird das begrenzte Arbeitsgedächtnis entlastet und der intrinsic cognitive load so gering wie möglich gehalten. Doch auch erhöhter intrinsic cognitive load (wie beispielsweise eine hohe Anzahl an Beispielen für ein Phänomen) kann zu produktivem Lernen führen, weil hier die Beanspruchung zwar steigt, der Anstieg jedoch ‚germane' ist und somit zur Konstruktion von Schemata beitragen kann (Sweller, 2005, S. 27). Kognitive Leistungen wie das Verknüpfen von Beispielen, Elaborationen, Selbsterklärungen oder Schemakonstruktion stellen also nicht per se Belastungen dar, sondern können förderliche kognitive Beanspruchungen für produktives Lernen bedeuten. Sweller (2005, S. 27) nennt den germane cognitive load deshalb auch "effective" cognitive load. Auch Instruktionen wie das Beantoworten von Fragen zu Beispielen oder das Vervollständigen unvollständiger Beispiele können den germane cognitive load erhöhen und somit das Lernen anregen (Sweller et. al., 1998, S. 265).

Bedeutsam für das Lernen mit Medien sind also die Komplexität der Inhalte an sich, ihre Darbietung sowie die Informationsverarbeitungsprozesse des Lernenden. Sweller (2005) spricht von einem additiven Zusammenwirken dieser drei Quellen kognitiver Beanspruchung. Sweller et al. (1998) sind der Meinung, dass ein hoher extraneous cognitive load schlecht entwickelte Instruktionen widerspiegelt, während ein hoher germane cognitive load Leistung anzeigt, die zur Wissensbildung beiträgt. Aus diesem Grund fordern sie angemessene Instruktionen, die den extraneous cognitive load reduzieren, aber den germane cognitive load erhöhen (Sweller et al, 1998, S. 259). Auch 20 Jahre später lautet der Appell an Lehrkräfte und die Entwickler von didaktischen Medien: „… the goals of instructional design are to develop effective techniques to reduce extraneous processing, manage essential processing, and foster generative processing" (Mayer, 2021, S. 59). Durch geeignete Instruktion kann und soll also die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses so gesteuert werden, dass genügend Kapazitäten für die Bewältigung eines hohen germane cognitive load zur Verfügung stehen und so zur Schemakonstruktion und –automatisirung vollzogen werden kann. Hier kann das Lernen mit

auditiven Medien ansetzen und – anknüpfend an die Erkenntnisse von Rink und Walter (2020) bzgl. der unterschiedlichen Präsentationsformen – den extraneous cognitive load im Hinblick auf sprachliche Anforderungen verringern (durch das Ausklammern der kognitiven Beanspruchung durch erforderliche Leseleistung) ohne den intrinsic cognitive load (den mathematischen Inhalt) reduzieren zu müssen.

Gleichzeitig führt die „single-modality-instruction" durch das Fehlen von visuellen Informationen dazu, dass mentale Bilder und Vorstellungen zu dem Gehörten selbst erzeugt werden müssen (Anderson, 2013; ausführlicher in Kap. 2.1.3). Im Gegensatz zu einer Präsentationsform mit zusätzlicher visueller Darstellung, die den cognitive load sicherlich reduzieren kann, wird also durch die geforderte Konstruktion von Vorstellungsbildern der germane cognitive load erhöht. Dies kann im Sinne von Sweller et al. (1998) als effektiver cognitive load und damit als eine produktive Herausforderung gewertet werden:

> We consider instructional designs that also increase cognitive load, but which nonetheless are optimal because they direct learners' attention to cognitive processes that are relevant for learning on schema construction (i.e. instructional designs that increase germane cognitive load). (Sweller et al., 1998, S. 262)

Auditive Medien stellen im Hinblick auf die Beanspruchung der kognitiven Kapazitäten also Potenziale in drei Perspektiven dar:

1. Durch das Ausklammern der kognitiven Beanspruchung erforderlicher Leseleistung kann extraneous cognitive load verringert werden, sodass germane cognitive load für andere Prozesse zur Verfügung steht.
2. Durch die rein verbale Darstellung und das Fehlen visueller Informationen steigen die sprachlichen Anforderungen und die Anforderungen an das Hörverstehen.
3. Durch das Fehlen visueller Informationen müssen mentale Bilder und Vorstellungen zu dem Gehörten selbst erzeugt werden.

Als Ergänzung zum ersten Punkt muss erwähnt werden, dass sich selbst in dem Ausklammern der Leseleistung zwei Perspektiven verbergen. Ähnlich wie in Vorlesesituationen werden beim Rezipieren auditiver Medien die Rezipient:innen hinsichtlich ihres Textverstehens gleichermaßen gefordert wie entlastet (Birkle, 2010): Anders als beim Lesen müssen die Rezipient:innen zwei verschiedenartige Informationen verarbeiten (sprachliche bzw. inhaltliche Aspekte sowie paraverbale Informationen) und somit nicht nur einen Prozess auditorischer Verarbeitung bewältigen. Außerdem erfordert das vorgegebene Tempo der Informationsrepräsentation sowie die nicht vorhandene Möglichkeit zur Wiederholung oder des Vor- und Zurückspringens in Textpassagen eine spezifische Gedächtnisleistung (Buck, 2001;

Birkle, 2010). Gleichzeitig wird durch gesprochene Sprache das Verstehen erheblich entlastet, da durch eine Fülle an Signalen, die den Text strukturieren und interpretieren, Textverstehensleistungen vorweggenommen werden. Beispielsweise werden durch Intonation oder Pausen Doppeldeutigkeiten aufgehoben, sowie syntaktische oder semantische Zusammenhänge hervorgehoben (Birkle, 2010).

Diese Erkenntnis kann ergänzend zu Punkt zwei angeführt werden: Durch die rein verbale Darstellung steigen die sprachlichen Anforderungen – gleichzeitig wird das Hörverstehen jedoch durch die eben genannten Punkte unterstützt.

Ergänzend zum dritten Punkt kann ein weiterer Aspekt der Entlastung genannt werden, der die globale Kohärenzbildung durch räumliche Relationen und das Bilden von mentalen Modellen betrifft. Kelter (2003) stellt die Hypothese auf, „dass es beim Lesen eines Textes schwerer fällt als beim Hören, die räumlichen Aspekte des geschilderten Sachverhalts mental zu repräsentieren“ (S. 515) und stützt diese These mit Untersuchungsergebnissen. Grund dafür ist die Tatsache, dass bei der Textrezeption gleichzeitig eine Tätigkeit durchgeführt werden muss, bei der räumliche Information über die reale Situation repräsentiert werden (die Steuerung der für das Lesen notwendigen Blickbewegungen). Dies behindert die mentale Repräsentation des Sachverhaltes. Im Unterschied dazu müssen beim Hören keine räumlichen Tätigkeiten durchgeführt werden, weshalb die mentale Repräsentation des gehörten Sachverhaltes nicht behindert ist (Kelter, 2003). Der Aufbau mentaler Modelle und Vorstellungsbilder wird in Kapitel 2.1.3 genauer in den Blick genommen.

Die verschiedenen kognitiven Beanspruchungen der begrenzten Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses erzwingen Aufmerksamkeitssteuerung, selektierte Informationsverarbeitungsprozesse, Entscheidungen über die Tiefe und Struktur der Organisation dieser selektierten Information sowie Entscheidungen über die zu knüpfenden Verbindungen zum Vorwissen. Dazu sind metakognitive Strategien notwendig, durch die die begrenzten Strategien koordiniert werden. In Baddeleys Mehrkomponenten-Modell (1986) ist dies Aufgabe der zentralen Exekutive. Nach neueren Erkenntnissen sind hier auch Herausforderungen an das Design von Lernumgebungen zu nennen, die geeignete aktive Verarbeitungsprozesse anregen sollen, ohne die begrenzten Kapazitäten des Lernenden zu überlasten (Mayer, 2021).

> If total cognitive load is not excessive, teachers might direct learners' attention to processes that are relevant to learning, or to the construction of schemas (increasing germane cognitive load). (Sweller et al., 1988, S. 265)

2.1.4 Active Processing

Herausforderung an das Design von Lernumgebungen ist es also, geeignete Instruktionen zu entwickeln, die aktive Verarbeitungsprozesse anregen, ohne die begrenzten Kapazitäten der Lernenden zu überlasten (Mayer, 2021). Dies liegt begründet in dem dritten der ‚cognitive science principles of learning', die Mayer (2021) für das Lernen mit Medien zusammenfasst: die ‚active processing assumption', nach der Lernen ein aktiver Vorgang ist, bei dem der Lernende sich bewusst relevanten Informationen zuwenden und sie nach dem bereits beschriebenen S-O-I-Modell aktiv verarbeiten muss, um kohärente mentale Repräsentationen zu generieren. Dies macht Menschen zu „active processors" (Mayer, 2021, S. 37), die sinnentnehmend und sinnbildend ihre Umwelt wahrnehmen.

Damit aktives Lernen stattfinden kann, müssen kognitive Prozesse auf das präsentierte Material angewandt, Modelle gebildet und Wissen strukturiert werden. Cook und Mayer (1980, S. 449; siehe auch Mayer, 2021, S. 38f.) haben dazu fünf typische Arten unterschieden, wie Wissen strukturiert werden kann:

- *Sequenz* (bei Mayer *Process*): beschreibt eine verbundene Serie von Ereignissen oder die Teilschritte eines Prozesses; beschreibt wie ein System funktioniert und kann als Ursache-Wirkungs-Kette dargestellt werden,
- *Comparison/ Contrast:* arbeitet Beziehungen zwischen zwei oder mehr Elementen vergleichend oder kontrastierend heraus,
- *Generalization:* repräsentiert die Leitidee; wird mit untergeordneten Details wie ein verzweigter Baum dargestellt,
- *Enumeration*: listet eine Sammlung von Fakten als spezifische oder unspezifische (Fakten als Paragraphen) Liste auf,
- *Classification*: gruppiert Items in Klassen und Kategorien; entwickelt ein Klassifikationssystem mit Hierarchien, Ober- und Unterbegriffen.

Mayer (2021) schlägt im Hinblick auf das Strukturieren von Wissen zwei wichtige Implikationen für das Lernen mit Medien vor:

1. Das präsentierte Material muss eine kohärente Struktur aufweisen, die die Rezipient:innen durch die Inhalte leitet.
2. Das Material sollte den Lernenden eine Anregung für den Aufbau von Wissensstrukturen geben.

Ohne kohärente Struktur und ohne Anleitung für das Strukturieren von Wissen wird der Aufbau mentaler Modelle nur schwer möglich sein. Ziel sollte also sein "to assist learners in their model-building efforts" (Mayer, 2021, S. 39).

In den untersuchten Lernumgebungen der vorliegenden Studie wurden verschiedene Arten der Strukturierung von Wissen angeregt. Wie in der Darstellung der Einheiten (Kap. 5) noch genauer dargestellt wird, wurde in der Lernumgebung zur Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* ein Klassifikationssystem mit Hierarchien, Ober- und Unterbegriffen entwickelt, während in der Lernumgebung zur Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* die Leitidee des Konzeptes ‚Fairness' über die Einheit hinweg mit untergeordneten Details, Begriffen und Beispielen angereichert wird, die das Konzept konkretisieren.

Als Ergebnis solcher aktiven kognitiven Prozesse können aus dem präsentierten Material Wissensstrukturen bzw. mentale Modelle gebildet werden, die die wichtigsten Informationen und ihre Beziehungen zueinander repräsentieren (Mayer, 2021). Wie diese mentalen Modelle entstehen und aufgebaut sein können, soll im Folgenden genauer betrachtet werden.

2.1.5 Konstruktion mentaler Modelle

Bevor die Entstehung und Beschaffenheit mentaler Modelle detailliert in den Blick genommen werden soll, muss eine Begriffsabgrenzung vorgenommen werden. In der Kognitionspsychologie werden zwei Arten interner Repräsentationen unterschieden: Zum einen gibt es „mentale Bilder (mental images) als interne Repräsentationen von visuellen und räumlichen Informationen" und zum anderen „mentale Vorstellungen (mental imageries) in einem weiteren Sinne als Verarbeitung von wahrnehmungsähnlicher Information in Abwesenheit externer Quellen perzeptueller Information" (Anderson, 2013, S. 75). Bei der auditiven Informationsverarbeitung beispielsweise wird der Gehirnbereich, der die Funktion der visuellen Informationsverarbeitung übernimmt, genutzt, „um bei fehlenden visuellen Reizen von außen im Kopf mentale Bilder zu erzeugen" (Anderson, 2013, S. 75). Obwohl nur der auditive Sinneskanal durch externe Reize stimuliert wird, zeigen Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren, dass bei der Vorstellung von mentalen Bildern, die durch das Gehörte angeregt werden, dieselben Gehirnregionen beteiligt sind wie bei der Wahrnehmung ebendieser (Anderson, 2013, S. 82). Der visuelle Sinneskanal wird also nicht durch externe Reize stimuliert, jedoch durch die Konstruktion oder das Abrufen mentaler Bilder gleichermaßen gefordert. Taylor und Tversky (1992) führten Experimente zum Vergleich der Effektivität von drei verschiedenen Arten räumlicher Information durch. Sie nutzten dabei Routenbeschreibungen, Überblicksbeschreibungen und tatsächliche Landkarten als Informationsquelle. Die Ergebnisse ihrer Experimente zeigen, dass verbale Beschreibungen ebenso gut und effektiv in detaillierte kognitive Landkarten umgewandelt werden können wie es mit tatsächlichen Landkarten möglich ist. Die Leistung und Präzision dieser kognitiven

Karten oder Vorstellungen ist dabei fast gleichwertig: „Die Details in mentalen Bildern lassen sich vielfach in der gleichen Art von Urteilen angeben wie die Details in aktuell gesehenen Szenen, wenn auch mit etwas größeren Schwierigkeiten“ (Anderson, 2013, S. 82). Wie detailliert Angaben mentaler Bilder oder auditiv vermittelter Informationen sein können und welche Schwierigkeiten sowie Potenziale sich dabei ergeben können, zeigt sich auch in den Interaktionsanalysen der vorliegenden Studie (Kap. 8).

Für das Generieren mentaler Modelle ist oft auch das räumliche Vorstellungsvermögen von Bedeutung, wenn beispielsweise aus der verbalen Beschreibung einer räumlichen Struktur eine Vorstellung entwickelt werden muss. Da dies in der vorliegenden Studie besonders durch die Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* angeregt wird, soll das räumliche Vorstellungsvermögen im Rahmen der fachdidaktischen Analyse dieser Sendung thematisiert werden (Kap. 5.2.5).

Mental representations

Grundlegend können verschiedene Arten von Repräsentationen unterschieden werden. Weber (2007, S.144) beispielsweise benennt drei Arten Formen von Vorstellungsbildern: Vorstellungsbilder visueller, taktiler und auditiver Ausprägung. Im Bezug auf das ‚Integrated Model of Text and Picture Comprehension‘ stellt Schnotz (2005) zunächst grundlegend heraus, dass es zwar viele Varianten von Repräsentationen gibt, aber nur zwei „basic forms of representations: descriptions and depictions” (S. 52). *Descriptive representations* bestehen aus Symbolen, die keine Ähnlichkeit mit dem Bezeichneten haben (Peirce, 1931–1958). Im Gegensatz dazu können *depictive representations* wie Abbildungen, Karten, Modelle, Graphen etc. als Icons verstanden werden. „Icons are signs that are associated with their referent by similarity or by another structural commonality“ (Schnotz, 2005, S. 52). Diese beiden Formen von Repräsentationen sind von unterschiedlichem Nutzen für unterschiedliche Zwecke: Mit *descriptive representations* kann sehr wirkungsvoll abstraktes Wissen, welches sich schwer abbilden lässt, beschrieben werden. Außerdem sind mit wenigen Worten Kausal- oder Prozessbeschreibung möglich. *Depictive representations* hingegen können nur Momentaufnahmen liefern und würden hier eine Serie von Abbildungen benötigen. Auf der anderen Seite haben *depictive representations* den großen Vorteil, dass sie „informationally complete“ sind (Schnotz, 2005, S. 53).

Um dies schon im Kontext eines der in dieser Studie genauer zu betrachtenden mathematischen Inhalte, der Begriffshierarchie der Vierecke, einzuordnen, soll an dieser Stelle das Rechteck als Beispiel dienen. Die Abbildung eines Rechtecks inkludiert alle geometrischen

Informationen über die Beschaffenheit der ebenen Figur: die Anzahl der Ecken, die Größe der Winkel, die Länge der Seiten etc. Sie eignet sich dazu, Zusammenhänge zu entdecken und Schlussfolgerungen zu ziehen, da Informationen direkt abgelesen und miteinander verglichen werden können.

Bei auditiver Informationsverarbeitung findet die Wissensvermittlung durch *descriptive representations* statt. Durch Elaboration kann jedoch auch eine Speicherung als *depictive representation* generiert werden. Im eben genannten Beispiel kann geometrisches Wissen (auch intuitives) über Rechtecke also in einer mentalen Repräsentation abgebildet werden. Umgekehrt muss für die Konstruktion dieser mentalen Repräsentation geometrisches Wissen vorhanden sein. Beim Hörverstehen werden aus der auditiven Information drei verschiedene mentale Repräsentationen konstruiert (Schnotz, 2005). Zuerst wird eine mentale Repräsentation der Text-Oberflächenstruktur generiert. Das Generieren dieser Struktur bedeutet noch kein Verständnis, ermöglicht jedoch das Wiederholen des Gehörten. Auf dieser mental repräsentierten Struktur aufbauend kann die *propositional representation* konstruiert werden, welche die vorgestellten Ideen auf einer konzeptuellen Ebene unabhängig vom genauen Wortlaut und Syntax des Hörtextes darstellt. Im letzten Verarbeitungsschritt kann dann ein mentales Modell des Textinhaltes aufgebaut werden – z.B. eine mentale Karte oder im eben genannten Beispiel die mentale Vorstellung eines prototypischen Rechtecks.

Auch innerhalb dieser mentalen Vorstellungen kann zwischen *descriptions* und *depictions* unterschieden werden (Schnotz, 2005, S. 53f.): Die ersten beiden Formen mentaler Repräsentation sind sprachlicher Natur (descriptions). Schon in der *propositional representation* findet jedoch eine Ablösung von der sprachlichen Quelle statt und im mentalen Modell wird die Information dann als *depictive representation* dargestellt, die über eine Struktur verfügt, welche der Struktur des Textgegenstandes entspricht. Damit ist das mentale Model nicht wahrnehmungsspezifisch, also abhängig von einem bestimmten Sinneskanal. Es kann zum einen Informationen verschiedener Modalitäten integrieren und zum anderen Informationen einer Modalität in eine andere übersetzen. Aus der auditiv vermittelten sprachlichen Information muss also nicht nur eine *descriptive representation* werden, sondern es kann auch ein mentales Model im Sinne einer *depictive representation* entstehen. Im Kontext des zweiten Untersuchungsgegenstandes, einem Würfelspiel als Zufallsexperiment, werden die Regeln des Würfelspiels zwar auditiv durch den Radiobeitrag vermittelt (und können auch wiederholt werden), das mentale Modell des Spiels und seiner Regeln jedoch „can be constructed with visual, auditory, and touch information“ (Schnotz, 2005, S. 54). Bestehende bildliche Vorstellungen eines Würfels sowie die Haptik beim Würfelvorgang, können

abgerufen und mit den auditiven Informationen (Hörtext, Würfelgeräusche etc.) zusammengebracht werden. Das mentale Modell ist somit abstrakter als eine ikonische und anschaulicher als eine sprachliche (in diesem Fall auditive) Darstellung.

Basierend auf dieser Unterscheidung von Repräsentationen entwickelten Schnotz und Bannert (2003) das *Integrated Model of Text and Picture Comprehension* (Abb. 8), ein Modell zur Analyse von Text- und Bildverständnis, welches auch Hörtexte mit einbezieht. Im Grunde stimmen sie mit dem in Kap. 2.1.2 vorgestellten dual-coding concept (Paivio, 1986) überein, das ein verbales und ein bildliches Informationsverarbeitungssystem vorschlägt, dessen Ergebnisse (verbale und bildliche Modelle) ineinander integriert werden. Über diese traditionelle Theorie hinaus gehen Schnotz und Bannert (2003) in ihrem Modell davon aus, dass sowohl im Textverständnis als auch im Bildverständnis mehrere Repräsentationen generiert werden.

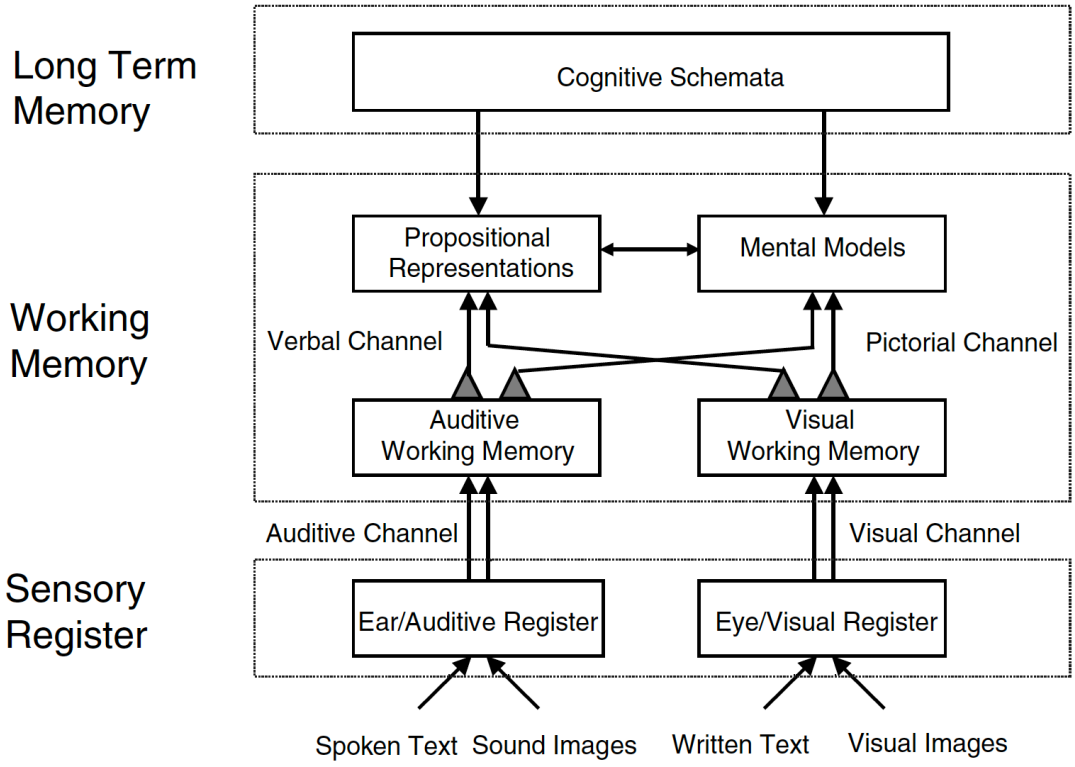


Abbildung 8: Integrated model of text and picture comprehension (entnommen aus Schnotz, 2005, S. 57)

So werden im Hinblick auf die vorliegende Studie durch den Einsatz auditiver Medien Informationen zwar nur über einen Sinneskanal aufgenommen, es werden jedoch verschiedene Arten von Repräsentationen hervorgerufen. Beispielsweise werden „sound patterns“ wie z.B. die Geräusche eines Tieres oder im Beispiel der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* die Geräuschkulisse eines Pausenhofes oder das Fallen der Würfel als „sound images“

wahrgenommen und verarbeitet. “Accordingly, there is no a priori connection between representational formats and sensory modalities” (Schnotz, 2005, S. 55). Im Sinne dieses Modells können auditive Medien somit nicht nur dem Aufbau sprachlicher Repräsentationen dienen, sondern auch dem Aufrufen bildlicher Informationen (durch Beschreibungen oder sound images) und in Kombination dieser beiden Aspekte auch dem Aufbau mentaler Modelle.

Im Hinblick auf auditive Medien werden auditive Informationen also registriert und im auditiven Arbeitsgedächtnis als *propositional representations* enkodiert, die dann wiederum semantisch verarbeitet werden können (Schnotz & Bannert, 2003). Sound images können aus dem auditiven Arbeitsgedächtnis direkt zur Konstruktion eines mentalen Modelles führen. Dieses kann dann mit den selektierten Ideen und Aspekten der *propositional representation* angereichert werden. In diesem Modell wird also deutlich, wieso bei der Vorstellung von mentalen Bildern, die durch Gehörtes angeregt wurden, dieselben Gehirnregionen beteiligt sind wie bei der visuellen Wahrnehmung (Anderson, 2013). „Mental model construction implies a transition from a descriptive to a depictive representation” (Schnotz und Bannert, 2003, 146). Für die Konstruktion mentaler Modelle muss die sprachliche (hier auditive) Information also in bildliche Information umgewandelt werden, wenn diese nicht simultan durch den visuellen Kanal mitgeliefert wird, denn: „Mental models … are internal depictive representations. They have inherent structural features in common with the depicted object” (Schnotz und Bannert, 2003, 146f.). Aus diesem Grund können sie auch länger behalten werden als *propositional representations* (Schnotz, 2005).

Kernpunkt des Integrated Models ist demnach, dass *propositional representations* und mentale Modelle auf unterschiedlichen Zeichensystemen und Repräsentations-Prinzipien basieren, die einander komplementieren (Schnotz und Bannert, 2003). Wird die visuelle Repräsentation nicht durch externe Reize vorgegeben, kann sie ebenso durch verbale Beschreibungen oder sound images generiert werden. Die Prozesse der Modellkonstruktion sind dabei immer angeleitet durch kognitive Schemata, die aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden können (Abb. 5). Rückschlüsse auf die mentalen Modelle und das Verständnis wahrgenommener Informationen können durch das Erstellen eigener Visualisierungen zur rezipierten Information gezogen werden: „For example, a learner can read a text, construct a mental model of the text content, and then create his or her own visualization of the content“ (Schnotz, 2005, S. 60). Visualisierungen des Gehörten sollen auch in den Analysen der vorliegenden Studie in den Blick genommen werden.

Auch im Forschungsbereich der Lesekompetenzen wird der Konstruktion mentaler Bilder eine bedeutende Rolle zugeschrieben und diesem Bereich intensiv Studien gewidmet, was

Forschungsbände wie „The Construction of Mental Representations During Reading“ (Ostendorp & Goldmann, 1999) zeigen, die der Frage nachgehen, wie Rezipient:innen kohärente Repräsentationen aus textuellem Input generieren. Garrod und Sanford (1999, S. 25) zeigen, dass beim Lesen oft die verbale Informationsverarbeitung zur Hürde wird. Durch Interpretationen, die auf mentale Modelle zurückgehen, kann jedoch meist trotzdem ein hinreichendes Textverständnis erreicht werden. Bezogen auf den Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit können entsprechende Befunde angeführt werden: Beim Rezipieren auditiver Medien (wie auch in zwischenmenschlicher Kommunikation) kann das Sprachverständnis zusätzlich durch akustische Störungen behindert werden, wenn beispielsweise einzelne Worte oder Satzteile von einem Geräusch oder Lärm verschluckt werden. Beispielsweise konnte Warren (1970) in einem Experiment feststellen, dass Zuhörer ein Wort, das sie nicht vollständig hören konnten, durch die erfolgreiche Konstruktion des jeweiligen Satzkontextes semantisch angemessen rekonstruierten. Mentale Modelle helfen also sowohl beim Sprachverständnis (auf textueller sowie auditiver Ebene) und generell beim Erschließen der Umwelt.

Das ‘Landscape Model of reading’ von van den Broek et al. (1999) ist ein Prozessmodell, das die Dynamik in der Aktivierung von Konzepten und innerhalb des Netzwerks von Konzepten, denen sie angehören, darstellt. Die Repräsentation mentaler Modelle ist hierbei definiert durch Aktivierungsmuster, die während der Verarbeitung auftreten. Diese Aktivierungsmuster sind bestimmt durch den Text, die Aufmerksamkeitssteuerung des Lesers, das Vorwissen bzw. seine Grenzen etc. Caillies et al. (1999) berichten von Forschungsergebnissen, die eine Verbindung zwischen der Struktur des Textes und der Wissensstruktur der Rezipient:innen anzeigen. Sie schlussfolgern, dass mentale Modelle besser gebildet werden können, wenn die Struktur der textuellen Information konsistent ist mit der Wissensstruktur. Dies ist ein wichtiger Hinweis für die konzeptionelle Gestaltung auditiver Medien (Kap. 3.4.1). Tapiero und Otero (1999) unterscheiden zwischen oberflächlicher und tiefgehender Verarbeitung bzw. Überarbeitung eines Modelles durch die Identifikation, ob eine Repräsentation des Textes oder der Situation betroffen ist. Sie stellen heraus, dass Aufgaben, die nur die Textrepräsentation erschließen, weniger gewinnbringend sind als Aufgaben, welche die Repräsentation der Situation erschließen. Beim Einsatz auditiver Medien zur Informationsvermittlung ist es für die Konstruktion mentaler Modelle also wichtig, nicht nur (hör-)textbasierte Aufgaben zu stellen, die sich auf die Oberflächenstruktur beziehen, sondern Aufgaben, die mit Situationsmodellen arbeiten oder dem Generieren ebendieser dienen.

2.2 Mathematikdidaktische Perspektive

Da diese Studie im Bereich der Mathematikdidaktik zu verorten ist, soll im Folgenden die Bedeutung mentaler Modelle auch aus dieser Perspektive betrachtet werden. Weber (2007) betont, dass Wahrnehmen als Konstruktion eine spezifische Handlung sei: „Es können Vorstellungen aufgebaut werden, indem eigene Handlungen und deren Auswirkungen erfahren, analysiert und verinnerlicht werden. Vorstellungen sind gedankliche Objekte, die letztlich auf konkreten Handlungen basieren“ (S. 129). Damit knüpft er an Konzepte wie die ‚Handlungsvorstellungen‘ von vom Hofe (1995, S. 63) an. Für den Mathematikunterricht gilt also, dass die Konstruktion mentaler Modelle immer durch konkrete Handlungen unterstützt werden muss. Auch die Bedeutung von Lese- und (Hör-)Textverständnis wird betont, welche in engem Zusammenhang mit der Entwicklung mathematischer Vorstellungsbilder steht (Berg et al., 2018, S. 5).

In der Kognitionspsychologie werden Vorstellungen in Form von gedanklichen Objekten nach der Art der beteiligten Zeichensysteme unterschieden und so in bildhafte bzw. visuelle und verbale Vorstellungen eingeteilt (Weber, 2007, S. 143). Die Unterscheidung nach Sinnesmodalitäten - wie Weber sie für seine Analysen im mathematikdidaktischen Kontext nutzt – sieht wie eingangs genannt visuelle, taktile und auditive Vorstellungsbilder vor (Weber, 2007, S. 144). Begriffe können also sowohl mit bildhaften Vorstellungen (Visualisierungen) verknüpft sein, als auch mit taktilen Vorstellungsbildern (Wie fühlt sich etwas an?) oder mit auditiven Vorstellungsbildern (Lautbilder von Worten, Geräusche oder Klänge eines Objektes). Entsprechend kann die Aktivierung multimodaler Vorstellungsbilder im Sinne des ‚multimedia learning‘ mathematische Problemlösungsprozesse unterstützen (Mayer, 2005). Wie schon in Kap. 2.1.5 dargelegt wurde, ist durch die Informationsvermittlung durch auditive Medien zwar eine monomodale Darstellung gegeben, jedoch können multimodale Vorstellungsbilder aktiviert werden. Beispielsweise können in der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* durch die auditive Darstellung des Würfelspiels alle drei Arten von Vorstellungsbildern aktiviert werden: die Visualisierung eines Würfels, seine Haptik sowie das Geräusch von Würfeln, die auf einen Tisch fallen. Diese Vorstellungsbilder erfordern eine konstruktive und damit kognitive Leistung.

Hirnpsychologische Studien zeigen, dass visuelle Vorstellungen Verwandtschaft zur visuellen Wahrnehmung aufzeigen und „von demselben System der Informationsverarbeitung abhängig sind, das auch der visuellen Wahrnehmung unterliegt“ (Weber, 2007, S. 143). Ähnliches kann auch für die anderen beiden Arten von Vorstellungsbildern vermutet werden.

Im Folgenden sollen jedoch die Vorstellungsbilder visueller Art, die Visualisierungen, fokussiert werden.

2.2.1 Visualisierungen mentaler Modelle

Visualisierungen, also graphische oder visuelle Darstellungen, besitzen in der Didaktik des Mathematikunterrichts einen hohen Stellenwert (z.B. Weber, 2011). Insbesondere die Geometrie beruht sehr stark auf visuellen Vorstellungsbildern (Maier, 1999). Es liegt also nahe, geometrische Inhalte im Hinblick auf ihre Visualisierungen zu thematisieren und durch Kopfgeometrie den Umgang mit mentalen Vorstellungsbildern zu fördern (Weber, 2011). Allerdings müssen nicht notwendigerweise figurale Stimuli vorhanden sein, weshalb Visualisierung ebenso in ‚nichtgeometrischen' Teilgebieten wie Arithmetik und Algebra vorkommen kann (Maier, 1999, S. 130). Weber nennt hier z.B. die Addition von Zahlen dargestellt durch das Aneinanderfügen von Längen oder die Konvergenz einer geometrischen Reihe dargestellt durch das stückweise Färben einer festen Strecke und spricht dann nicht mehr von „Kopfgeometrie", sondern von „Kopfmathematik" (Weber, 2011), wobei Geometrie natürlich weiterhin als Teil der Mathematik gesehen wird.

Visualisierungen werden von Kindern teilweise sogar bei Themen benutzt, die geometrisch-bildhaftes Denken prinzipiell gar nicht erfordern, oder kommen unbewusst zum Tragen. Sie sind „das Bindeglied zwischen den Handlungserfahrungen und der Verinnerlichung …, und sie übernehmen mit ihrem symbolischen Charakter wichtige Funktionen eines Übersetzungsprozesses" (Radatz, 1986, S. 306). Dementsprechend beschreibt Maier die Mathematik in einer globaleren Sichtweise folgendermaßen:

> [Eine] spezifische Art von Sprache, mit deren Hilfe wir mittels geschriebener Zeichen oder Symbole kommunizieren, also vorwiegend mit Gebilden, die visuell-räumlicher Natur sind. Somit handelt es sich eher um eine visuelle als eine verbale Sprache. (Maier, 1999, S. 129)

2.2.2 Mathematische Vorstellungsübungen

In seiner Studie stellt Weber (2007) *mathematische Vorstellungsübungen* vor – kopfmathematische Aufgaben, die auf unterschiedliche Prozesse zielen wie bspw. dem Verfügbarmachen und Explorieren eines mathematischen Inhaltes und dem Problemlösen. Da der Text der Aufgabe in der Phase der Vorstellung verbal und aufbauend auf Senftleben (1996) ohne Hilfsmittel vorgetragen wird, muss die Situation von den Lernenden zuerst einmal vergegenwärtigt werden. Dazu wird am Ende jedes Textes eine mathematische Frage gestellt sowie die Frage nach den aufgebauten Vorstellungen und Vorstellungsweisen: „Welche

Vorstellungen hast du im Laufe der Vorstellungsübung aufgebaut?“ (Weber, 2007, S. 25). Sobald die Situation von den Lernenden vergegenwärtigt ist, kann gedanklich experimentiert, entdeckt und vermutet werden. Eine Unterstützungsmethode könnte beispielsweise durch die schrittweise Anleitung erfolgen, Objekte gedanklich zu konstruieren (Weber, 2011). Dies erfolgt in der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* durch den Faltauftrag des O-Tons eines Kindes (MV; Z. 119-130).

Weber stellt ausführlich dar, wie in mathematischen Vorstellungsübungen das operative Prinzip (durch seine Grundfrage „Was passiert mit…, wenn…?“) sowie das funktionale Denken (die Untersuchung, wie sich eine Variation der Argumente einer Funktion auf die Funktionswerte auswirkt) zum Einsatz kommt (Weber, 2007, S. 84f.). Er betont weiterhin, dass funktionales Denken sich besonders gut zur operativ-konstruktiven Begriffsbildung und Beweisführung eignet. Die operativ-konstruktive Begriffsbildung kann auf diese Weise auch durch den Faltauftrag des Radiobeitrages angeregt werden.

Als Grundlage für seine Vorstellungsübungen verwendet Weber den denkpsychologischen Vorstellungsbegriff, nach dem Vorstellungen und Vorstellen in einem dualistischen Sinne im Zusammenhang mit Gedanken und Denken auftreten:

> Ausgehend von der Wahrnehmung realer Sachverhalte und von eigenen Handlungen werden durch Verinnerlichung *Vorstellungsbilder* – kurz: Vorstellungen – aufgebaut. Sie können *visueller*, aber auch *taktiler* oder *auditiver* Natur sein. Dadurch wird *Vorstellungshandeln*, das heißt *gedankliches Bearbeiten* und *Bewegen* – kurz: Vorstellen – möglich. (Weber, 2007, S. 128; Herv. im Original)

Es können also zwei Formen von Vorstellungshandlungen unterschieden werden. Sowohl gedankliches Bearbeiten als auch gedankliches Bewegen werden durch die Lernumgebung zum Beitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* angeregt und sollen deshalb an dieser Stelle kurz im Sinne Webers Darstellungen (2007, S. 144ff.) definiert werden:

- Vorstellungshandeln im Sinne von *gedanklicher Bearbeitung* steht für mentales Verändern eines Objektes oder Sachverhaltes durch z.B. Zerlegen, Zusammensetzen, Halbieren, Konstruieren etc. in einem oder mehreren Schritten. Es müssen also sowohl Anfangs- und Endzustand als auch die Zwischenzustände einzeln vorgestellt werden. Oft ist dabei ein Einbezug der Hände zu beobachten.
- Vorstellungshandeln im Sinne von *gedanklicher Bewegung* steht für Schieben, Drehen oder Verzerren eines gedanklichen Gegenstandes sowie für das Wechseln der Perspektive. Hier findet ein kontinuierliches Variieren mit beliebigen

Zwischenzuständen statt. Es wird dabei eher der Ablauf als die einzelnen Zustände fokussiert und oft ein Einbezug des ganzen Körpers beobachtbar.

Beide Formen von Vorstellungshandlungen können durch Vorstellungsübungen angeregt werden, da solche die Lernenden nicht nut anregen, Vorstellungen gedanklich aufzubauen und zu beobachten, sondern auch an ihnen zu handeln. Hier liegt ihr großes Potenzial: „sie *instruieren* die Konstruktion von Vorstellungsbildern und Vorstellungshandlungen“ (Weber, 2007, S. 143; Herv. im Original). Auf welche Art und Weise die zwei Formen von Vorstellungshandlungen bei der Arbeit mit dem auditiven Medium sichtbar werden, soll in der hier vorgelegten Untersuchung unter anderem herausgestellt werden.

2.3 Hörverstehen und Zuhörkompetenz

Wie schon bei der Darstellung des Multi-Memory-Systems (Baddeley, 2007; Kap. 2.1.1) erwähnt, ist das sensorische Gedächtnis flüchtig. Nur der kleine Anteil an Informationen, auf den die Aufmerksamkeit gerichtet wird, wird in das Arbeitsgedächtnis überführt. Informationen, die nur gehört – also auditiv wahrgenommen – werden, bleiben also nur für wenige Sekunden im sensorischen Gedächtnis und gehen dann wieder verloren, bevor sie für die Speicherung enkodiert werden können (Grabowski, 2007). Durch auditive Aufmerksamkeit und Prozesse der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis wie Rehearsal, Elaboration (z.B. das Übertragen auditiver Informationen in visuelle Bilder) oder das mentale Agieren im visuellen Notizblock können Informationen ins Langzeitgedächtnis überführt und aufrechterhalten werden. Die Leistung lässt jedoch nach, wenn zu viel gleichzeitig gefordert wird (Kap. 2.1.3). Aufmerksamkeit kann sich innerhalb und zwischen Sinnesmodalitäten bewegen. Auditive Aufmerksamkeit ist die Fähigkeit, selektiv auf eine bestimmte Äußerung zu achten, während auch andere Geräusche und/oder Stimmen wahrgenommen werden (Grabowski, 2007, S. 197). Reize, die nicht mit Aufmerksamkeit bedacht werden, können fast vollständig ausgefiltert werden. Die Fähigkeit zu diesem selektiven und sinnverstehenden Zuhören ist die Zuhörkompetenz.

Zuhörkompetenz wird oft als selbstverständlich angesehen, da Hören ein automatischer Prozess ist – man kann sich Geräuschen oder Hörerfahrungen nur selten entziehen (Jörg, 2000). Doch es gibt einen Unterschied zwischen *akustischer Wahrnehmung und selektivem Hören*. Knauf (2011, S. 59) bezeichnet akustische Wahrnehmung als passiven Vorgang, gesteuertes Zuhören hingegen als eine aktive Handlung, welche verschiedene Kompetenzen verlangt und gelernt werden muss. Imhof (2003, S. 15f.) bezeichnet sowohl *Hören* als auch *Zuhören* als aktive kognitive Prozesse, unterscheidet aber nach Intention und Selektivität. Während *Hören*

eher unspezifisch ist, werden beim *Zuhören* die Reize durch Intentionalität und Zielgerichtetheit bewusst selektiert und komplexer verarbeitet. Es werden Gedächtnisinhalte integriert, um den Sinn des Gehörten zu konstruieren. Dafür sind „grundlegende sprachliche, inhaltliche und prozedurale Grundfähigkeiten erforderlich und (…) Selbstregulationsfähigkeiten benötigt“ (Imhof, 2010, S. 18). Diese komplexen Vorgänge beanspruchen sowohl das Arbeitsgedächtnis als auch die Konzentration, weshalb das Zuhören im Unterschied zum Hören Ermüdungserscheinungen unterworfen und somit zeitlich begrenzt ist (Imhof, 2003, S. 16). Mittels Klärung der beiden Begriffe *akustisch* und *auditorisch* kann der Unterschied weiter verdeutlicht werden. Imhof (2003) bezeichnet das Wahrnehmen, Registrieren und einfache Kategorisieren von Schallereignissen über das Ohr aufgrund physikalischer Kriterien als akustische Wahrnehmung – die umfassende kognitive Analyse dieser Reize hingegen als auditorische Verarbeitung. Im Rahmen der akustischen Verarbeitung muss das auditorische System Schallwellen detektieren. Neben der Verarbeitung von sprachlichen Informationen obliegt es dabei weiteren Aufgaben wie der Objekterkennung und der Lokalisation (Grothe, 2000, S. 39-41). Schallereignisse werden beispielsweise danach klassifiziert, ob sie biotischen oder abiotischen Ursprungs sind. Stimmen oder Geräusche dienen der Identifikation des lautsendenden Individuums. Dazu muss die Wellenform, die dem Trommelfell als eine Wellenbewegung vorliegt, jedoch die Summe aller vorhandener Einzelwellen ist, in seine Einzelkomponenten zerlegt und diese untersucht werden. So kann im Auditorischen ebenso wie im Visuellen eine Figur-Grund-Wahrnehmung bzw. Geräusch-Sprache-Differenzierung vorgenommen werden. Außerdem kann das Hörsystem die Schallquelle lokalisieren, also im Sinne eines Richtungshörens einen räumlichen Kontext herstellen. Die Analyse der räumlichen Beziehung von Schallwellen dient somit sowohl der Identifizierung und Segregation als auch der Objekterkennung im dreidimensionalen Raum aus den eindimensionalen Bewegungen der beiden Trommelfelle (Grothe, 2000, S. 41). Nach Imhof (2003) stellen akustische und auditorische Prozesse eigenständige Wahrnehmungsfacetten dar, deren Ergebnisse in die Gesamtinterpretation der Informationen eingehen. Beide Prozesse fasst sie unter dem Oberbegriff der auditiven Verarbeitung[7] zusammen, welcher in diesem Sinne auch in der vorliegenden Arbeit genutzt werden soll.

[7] Geht es um die Diagnostik oder Beschreibung einer auditiven Wahrnehmungsstörung (AVWS), verwenden Phoniater:innen und Pädaudiolog:innen den Begriff ‚auditive Teilleistungen‘, da für das Hören die Kombination vieler beteiligten auditiver Areale notwendig ist. Da in der vorliegenden Arbeit heterogene Lerngruppe untersucht werden und nicht im Speziellen Kinder mit AVWS oder Auffälligkeiten auf der lexikalischen Ebene, wird weiterhin der Begriff der auditiven Verarbeitung verwendet.

Die Bedeutung von Zuhörkompetenz liegt in ihrer Alltäglichkeit und Allgegenwärtigkeit: „Zuhören wird in allen Bereichen des professionellen, kulturellen und privaten Lebensumfeldes verlangt“ (Imhof, 2010, S. 15), da überall die Fähigkeit gefragt ist, gesprochene Sprache zu verstehen. Das Zuhören ist damit eine Schlüsselqualifikation und Metakompetenz für Kommunikation, soziales Miteinander, Wissensvermittlung, Lernerfolg (Hagen, 2006). Auch die Sprachfertigkeit ist durch das Zuhören bedingt: Sprachliche Fähigkeiten entwickeln sich über die Hörfähigkeit sowie das kommunikative, rückmeldende Zusammenspiel von Hören und Sprechen in sozialer Interaktion (Spreng, 2002, S. 46f.). Sprache fängt also nicht erst mit dem Sprechen an, sondern mit auditivem Lernen durch das Aufnehmen gesprochener Sprache und das Gedächtnis für phonologische Information (Gathercole & Baddley, 1993, S. 73).

In ihren Unterrichtsbeobachtungen zeigt Imhof (2008), dass Zuhöranforderungen den größten Teil der Unterrichtszeit in deutschen Klassen in Anspruch nehmen: Zwei Drittel der Unterrichtszeit (27 von 45 Minuten) wird von Lernenden in Klasse 1 bis 4 erwartet, dass sie Mitschüler:innen und Lehrkräften zuhören – sowohl im Fach Deutsch als auch im Fach Mathematik, den Naturwissenschaften und musischen Fächern. In Klasse 5 steigt dieser Wert weiter auf 68% der Unterrichtszeit (31 von 45 Minuten). Abbildung 9 stellt die genauen Werte für jede Klassenstufe dar.

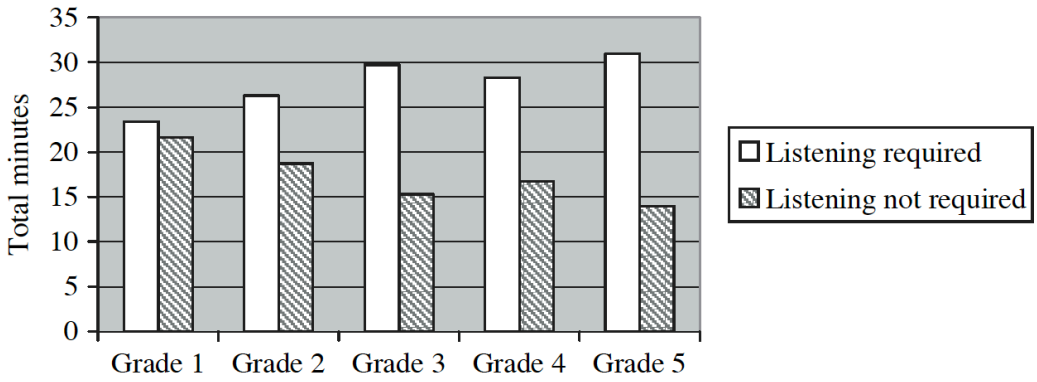


FIGURE 3 Total time for which listening is required during a 45-minute class period in grades 1 through 4 (based on N=48 class periods) and 5 (based on N=18 class periods).

Abbildung 9: Anteil an Unterrichtszeit in einer 45-minütigen Schulstunde, in der Zuhören eingefordert wird (entnommen aus Imhof, 2008, S. 7)

Das Zuhören wird in vielen verschiedenen Unterrichtssituationen eingefordert. Den größten Anteil nehmen laut Imhofs Untersuchungen *teacher-directed-instructions* ein. Gemeint ist mit diesem Ausdruck das lehrerzentrierte Unterrichtsgespräch, in dem nur ein geringer Anteil an Beteiligung von Schüler:innen stattfindet, aber sehr viel Information vermittelt oder gemeinsam erarbeitet wird. Doch auch in anderen Unterrichtssituationen wird Zuhören gefordert wie

beispielsweise bei der Präsentation von Arbeitsergebnissen, während Partner- und Gruppenarbeitsphasen, beim Spielen oder aber auch bei der Rezeption von oder der Arbeit mit Medien (Abb. 10).

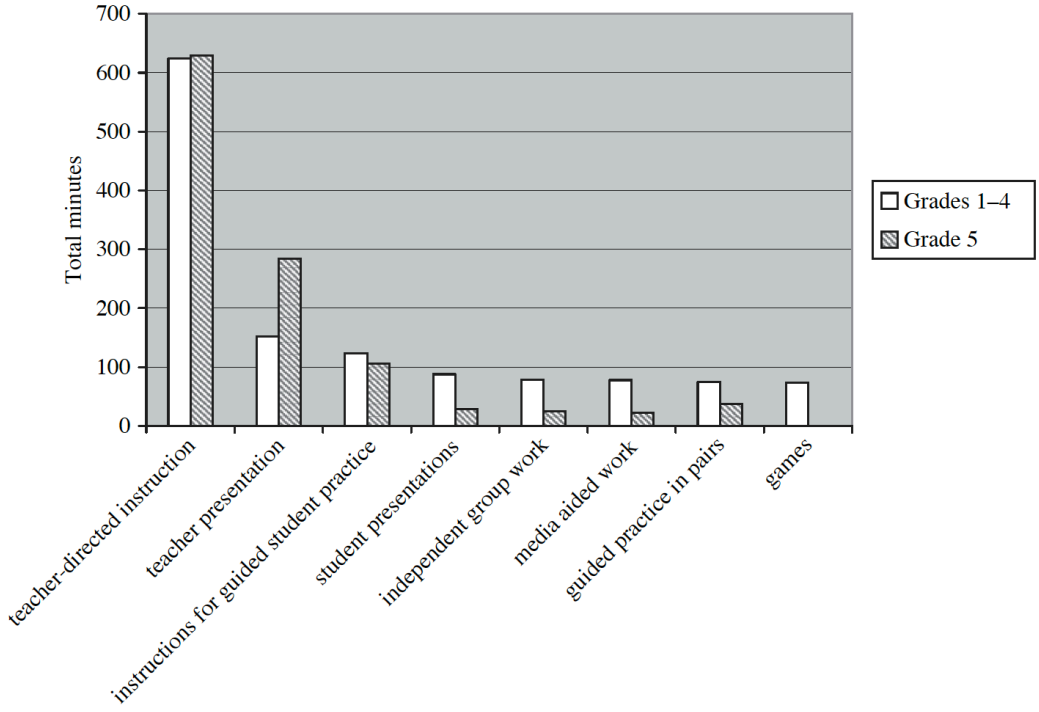


Abbildung 10: Unterrichtssituationen, in denen Zuhören eingefordert wird (entnommen aus Imhof, 2008, S. 8)

Imhof merkt an, dass die Ergebnisse dieser Studie die Reproduktion der Ergebnisse von früheren Studien darstellen, die vor einem halben Jahrhundert durchgeführt wurden. Außerdem steigt der Anteil an Unterrichtszeit, in der zugehört werden muss, über die Schuljahre hinweg, während die Varietät an Unterrichtssituationen, in denen diese Forderung stattfindet, sinkt (Imhof, 2008, S. 9). In Analogie zur Bedeutung von Textsorten-Kenntnis betont sie deshalb den Auftrag der Lehrkraft "to provide for a variety of opportunities for listening in order to educate listeners with flexible listening skills and strategies" (Imhof, 2008, S. 9).

Auch Kahlert (2000) stellt fest, dass die Zuhörkompetenz im Unterricht zwar wie selbstverständlich vorausgesetzt und gefordert, aber selten gefördert wird – sie sei jedoch vielmehr pädagogische Aufgabe als „Bringschuld" (S. 10) der Lernenden. Hagen (2006) betont deshalb, dass zum Bildungsauftrag der Grundschule auch die Förderung des Hörens und Zuhörens gezählt werden müssen – und zwar nicht nur als „sensibilisierte Wahrnehmung" (S. 31), sondern als bewusst nutzbare Grundfertigkeit, die mit Gestaltungskompetenz verbunden ist (Kahlert, 2000, S. 37). Für das Fach Deutsch werden in den nationalen

Bildungsstandards die Kompetenzen *Sprechen* und *Zuhören* als eigener Kompetenzbereich und noch vor den Kompetenzbereichen *Lesen* und *Schreiben* gelistet. Als eigener Teilbereich wird zusätzlich das *verstehende Zuhören* (Kultusministerkonferenz, 2022a, S. 11f.) genannt: In Kommunikations- sowie Hörsituationen sollen Gesprächsprozesse verfolgt und sinnverstehend zugehört werden können. Äußerungen sollen aufgenommen und sich mit ihnen konstruktiv auseinandergesetzt werden. Zur konstruktiven Auseinandersetzung gehört auch das Wiedergeben zentraler Aussagen, das Beurteilen einfacher Aussagen zum Gehörten sowie das Ziehen von Schlussfolgerungen. Außerdem sollen sie angeleitet werden, erste kognitive und metakognitive Strategien vor, während und nach dem Zuhören anzuwenden – wie z.B. das Stellen von Fragen, das wiederholte Rezipieren des Mediums und das Aufbauen von Hörerwartung. Für die Ausbildung solcher kognitiven und metakognitiven Strategien braucht es zunächst das Wissen darüber, wie der Zuhörprozess abläuft und aus welchen Teilprozessen er sich zusammensetzt, um dementsprechend passende Strategien für die einzelnen Phasen zu entwickeln.

2.3.1 Prozessmodell des Zuhörens nach Imhof

In der Sprach- und Kommunikationswissenschaft finden sich verschiedene Modelle, die verschiedene Teilprozesse des Hörens unterteilen. Hinrichs (1991, S. 18; 54ff.) bspw. beschreibt kleine, mittlere und große auditive Prozesse und Hermann (1995, S. 64) verschiedene Ebenen der auditiven Wahrnehmung. Ihnen gemeinsam ist, dass sie den Hörvorgang vereinfacht als linear, hierarchisch geordnete Kette von Teilleistungen darstellen, deren Bedeutung besonders dann deutlich wird, wenn Störungen auftreten (Hagen, 2006). Als Grundlage therapeutischer Interventionen solcher Störungen finden sich auch in der Sprachheilpädagogik komplexe Modelle zur auditiven Wahrnehmung. In ihrem Werk zu *zentral-auditiven Verarbeitungsstörungen im Kindesalter* entwickelt Lauer (1999) ein Modell, in dem Bottom-up-Prozesse (von der akustischen Simulation über die Empfindung und Wahrnehmung zur Klassifikation als Mustererkennung) durch Top-down-Prozesse (andere mentale Prozesse wie Erwartungen, Wissen oder Motivation) beeinflusst werden.

Dass das zielgerichtete oder gesteuerte Zuhören gelernt werden muss und kann, verdeutlicht Imhof in ihrem Prozessmodell des Zuhörens (Imhof, 2010, S. 18ff.), welches Zuhören als mehrstufigen Prozess der Informationsverarbeitung darstellt (Abb. 11). Basierend auf dem *S-O-I-Modell* der ‚cognitive theory of multimedia learning' (Mayer, 2021), welches auch auf die Sprachverarbeitung bezogen werden kann, wird Zuhören definiert als intentionale Selektion, Organisation und Integration verbaler und nonverbaler Aspekte akustisch

vermittelter Information. Imhof erweitert das S-O-I-Modell um den vorausgehenden Schritt der Intentionsbildung bzw. der Motivation, wodurch zum Ausgangspunkt von Zuhören das Bilden einer Zuhörabsicht und eines Selektionskriteriums wird (Imhof, 2010). Durch diesen Filter können aus dem Überfluss an Reizen die potenziell relevanten Informationen ausgewählt werden.

Da sich entlang dieses Zuhörprozesses Perspektiven der Zuhörförderung ableiten lassen (Kap. 2.3.2), soll das Prozessmodell im Folgenden genauer dargestellt werden. Der Prozess des Zuhörens wird in diesem Modell auf die Besonderheiten beim Verstehen von Sprache bezogen. Die Verarbeitung anderer akustischer Reize wie Geräusche oder Musik erfolgen nach anderen Regeln und sollen hier nicht näher betrachtet werden.

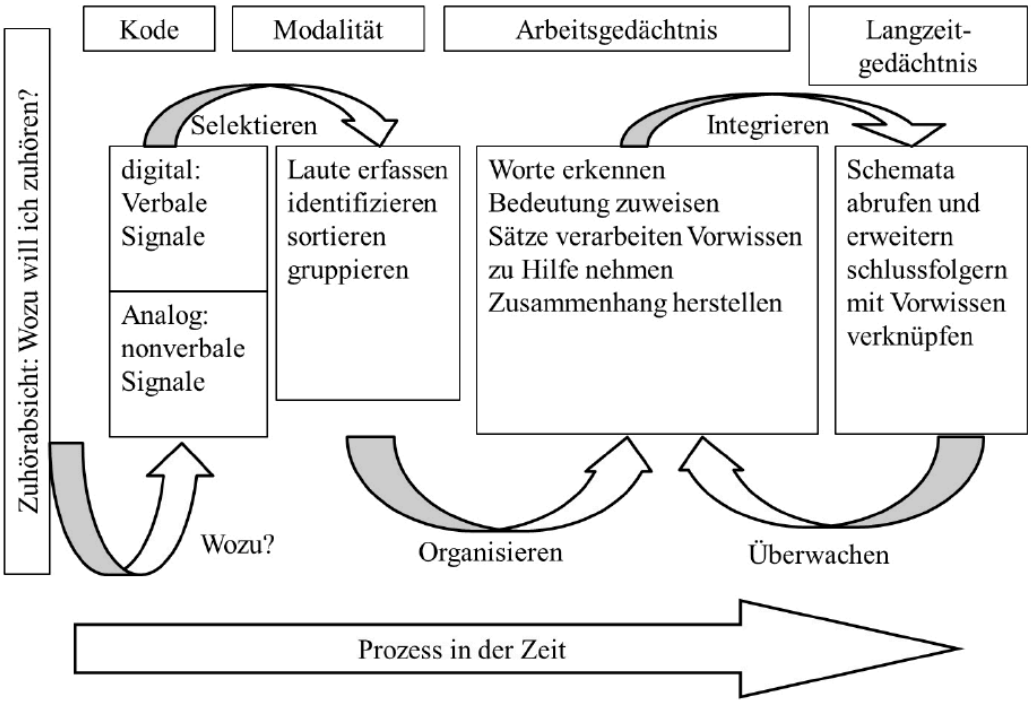


Abbildung 11: Zuhören als mehrstufiger Prozess der Informationsverarbeitung (entnommen aus Imhof, 2010, S. 19)

Ausgangspunkt und erste Phase ist wie eben beschrieben die Bildung einer **Intention** bzw. einer Zuhörabsicht sowie eines Auswahlkriteriums. Die Intention kann im eigenen Interesse liegen oder aber durch das Stellen von Fragen sowie das Konstatieren eines Wissensbedarfes angeregt werden. Dann kann die Konzentration aktiv auf das Hörereignis ausgerichtet und störende Reize ausgeblendet werden (Imhof, 2010).

In der zweiten Phase findet die **Selektion** relevanter Informationen aus der Informationsmenge statt. Akustische Wellen werden vom Ohr über den Hörnerv an den auditiven Cortex weitergeleitet und dabei auf einer frühen Verarbeitungsstufe bereits auf den

Informationsgehalt hin ausgewertet. Es wird registriert, ob das Schallereignis als Lärm, Geräusch, Musik oder Sprache einzuordnen ist, und relevante Information wird abstrahiert (Imhof, 2013, S. 94). Durch ihre flüchtige Natur stellt die Vergänglichkeit ein wesentliches Merkmal gesprochener Sprache im Vergleich zu Geschriebenem dar (Buck, 2001). Ein direktes Nachhören bzw. (identisches) Wiederholen analog dem Nachlesen ist mitunter nicht immer möglich und auch die Sprechgeschwindigkeit ist vorgegeben. Es müssen also noch während des Wahrnehmens eines oder mehrerer Reize selektierende und informationsverarbeitende Prozesse in Echtzeit und automatisch erfolgen. Zur Selektion von Information gehört zum einen die Separation gleichzeitiger Reize (z.B. das Lösen von Sprache aus einer Geräuschkulisse). Bei einem vis-à-vis-Gespräch müssen weiterhin über die Modalitäten verteilte Informationen wie Gestik, Mimik oder Intonation verknüpft werden (Buck, 2001, S. 110). Diese non- bzw. paraverbalen Signale können Bedeutungen modifizieren. Die Verarbeitungsroutinen der Selektion sind also schon der erste Schritt zur Interpretation und erfordern Kapazitäten im Arbeitsgedächtnis (Imhof, 2013). Durch die Selektion können bedeutungstragende Einheiten erkannt und die Konzentration auf relevante Informationen gerichtet werden. In dieser Phase kommt das generierte Selektionskriterium zum Tragen.

Wird Vorwissen aktiviert, können Verknüpfungen schneller stattfinden, kann das Arbeitsgedächtnis entlastet und so ein erleichtertes Zuhören erzeugt werden. Dieser Prozess findet in der dritten Phase statt. Hier beginnt die **Organisation** gesammelter Informationen. Es werden Sinneinheiten gebildet sowie Wörter und Phrasen geordnet. Diese werden mit Vorwissen in Verbindung gesetzt, sodass auf das mentale Lexikon zugegriffen und Bezüge hergestellt werden können (Imhof, 2013). Wichtig hierbei sind Strukturierungsstrategien, die dabei helfen, die Informationen spontan systematisch zu ordnen.

In der letzten Phase des Prozessmodells findet die **Integration** der auditiven Informationen in vorhandene Schemata und Wissensstrukturen statt bzw. die Umstrukturierung vorhandener Schemata zur Konstruktion der Bedeutung des Gehörten (Imhof, 2010). Dabei werden Inhalte und Vorwissen im Langzeitgedächtnis aktiviert, welche der Überwachung des aktuellen Zuhör- und Verstehensprozesses dienen und die Verarbeitung der neuen Information vorbereiten, unterstützen und beschleunigen kann. Wird beispielsweise vorab zu einem Text informiert, von was dieser handelt, oder werden im Voraus Fragen gestellt, die die Informationsaufnahme steuern, können selbst bei Störung die relevanten Informationen besser herausgefiltert werden (Imhof, 2010). In diesem Stadium des Prozessmodells verbinden sich also Vorwissen und neue Information, sodass Schlussfolgerungen sowie Handlungs-und Verhaltenskonsequenzen oder verbale Antworten abgeleitet werden können (Imhof, 2013).

Bei einem kompetenten und autonomen Zuhörer sollen diese Prozesse selbstständig und effektiv durchlaufen bzw. gesteuert werden. Der selbstregulierte Zuhörer kann seine auditive Aufnahme also bis zu einem gewissen Grad steuern (Imhof, 2010, S. 19). Schüler:innen entwickeln dieses Stadium erst im Laufe der Schulzeit. Deshalb und bis dahin müssen die dargestellten Phasen durch die Lehrkräfte angeregt, vorbereitet und unterstützt werden (Imhof, 2010).

Innerhalb der einzelnen Phasen wird Selbstregulation auf drei verschiedenen Ebenen gefordert (Imhof, 2010): als kognitive und metakognitive Kompetenz sowie als Regulation des Selbst (Wahl der Ressourcen). Abbildung 12 führt die verschiedenen Aspekte der Selbstregulation auf allen drei Ebenen auf.

	Intention	Selektion	Organisation	Integration
kognitive Kompetenz	Ziele formulieren	Konzentration ausrichten Vorwissen aktivieren Sprache kennen und erkennen	Strukturieren Kategorisieren Zusammenfassen Worte und Sinneinheiten erfassen	mit Vorwissen verknüpfen Visualisieren Wiederholen, Gehörtem Bedeutung zuweisen
metakognitive Kompetenz	Schwierigkeiten antizipieren Störungen kontrollieren	Input prüfen und kontrollieren mehrere Reizquellen beachten	Perspektive beachten Lücken feststellen Vollständigkeit und Konsistenz prüfen	Evaluieren und bewerten Emotionen beachten Einstellungen und Information trennen
Regulation des Selbst: Wahl der Ressourcen	Wem? Wann? Wie lange? Anstrengungsbereitschaft aufbauen	Notizen machen Form der Notizen bestimmen Umfang der Notizen festlegen	Prozess überwachen Kanalkontrolle durchführen Interaktion und Feedback steuern	Quellen wechseln Situationsmodell prüfen, ergänzen, und verstehen Konsequenzen: Was ist zu tun?

Abbildung 12: Selbstregulation in den Phasen des Zuhörens (entnommen aus Imhof, 2010, S. 20)

Im Hinblick auf den Einsatz auditiver Medien im Unterricht wird die Regulation des Selbst bzw. die Wahl der Ressourcen je nach Lernumgebung und methodisch-didaktischen Entscheidungen der Lehrkraft teils eingeschränkt bzw. vorgegeben. Wird im Plenum eine Audiosequenz abgespielt, muss der Lernende selbst keine Regulation vornehmen. In Phasen,

in denen selbstständig oder in Gruppen mit Audiosequenzen gearbeitet wird, müssen hier eigene Entscheidungen getroffen werden. Inwiefern die Selbstregulation in den verschiedenen Phasen und Ebenen bei der Arbeit mit auditiven Medien im Mathematikunterricht beobachtbar wird, soll in den Detailanalysen dieser Studie mit in den Blick genommen werden.

Im dem eben dargestellten Zuhörprozess werden also eine Menge Leistungen gefordert wie beispielsweise die Ausrichtung der Konzentration auf die Informationsaufnahme, die Sprachwahrnehmung und Wahrnehmung der Inhalte, die Sprecherwahrnehmung und die Wahrnehmung des situativen Kontextes (Imhof, 2004, S. 3). Erleichternd und essentielle Voraussetzung für diese Leistungen ist die Bildung der Zuhörintention und damit Steuerung der Selektion, die sowohl einen Prozess der Konzentrationsregulierung darstellt als auch inhaltliche Ausrichtung verlangt. Diese Steuerungsprozesse benötigen über den Verlauf des Zuhörprozesses hinweg Überwachung und ggf. Anpassung und müssen durch gut gewählte Förderperspektiven angeregt werden.

2.3.2 Pädagogische Förderperspektiven von Zuhörkompetenz

Auditive Medien in ihrer medial phonischen Darstellung und damit Begrenzung auf einen Sinneskanal bieten hier in Kombination mit Höraufträgen vor, nach oder während des Zuhörens die Möglichkeit, neben der Vermittlung von Inhalten auch zur Förderung der Aufmerksamkeit und des zielgerichteten Zuhörens eingesetzt zu werden. Zuhörförderung ist dabei entlang des eben dargestellten Zuhörprozesses möglich und umfasst folgende Ansätze (Imhof, 2013, S. 97):

- Intentionsbildung erleichtern: durch konkrete Zuhöraufgaben z.B. Aktivieren oder Zusammentragen von Vorwissen, eigenes Stellen von Fragen und gezieltes Suchen von Antworten (in dieser Arbeit: Höraufträge; siehe Kap. 3.5).
- Selektion erleichtern: durch Minimieren von ablenkenden und unwichtigen Signalen, durch angemessenes Sprechtempo oder Strukturierungshilfen, die das Gehörte gliedern (siehe Kap. 3.4.1).
- Organisationsprozesse fördern: durch Anregung der Worterkennung mithilfe von Aktivierung der gemeinsamen Wissensbasis, an die angeknüpft werden kann. Stellt sich diese Wissensbasis als fehlerhaft oder lückenhaft heraus, kann der Sprecher oder Experte seine Begrifflichkeiten an die Expertise des Zuhörers anpassen (z.B. gemeinsamen Wortspeicher erstellen als geteilte Wissensbasis; siehe Kap. 4.4.4)
- Integration von Information fördern: durch Kontrolle und Regulation, indem Informationsmenge, Sprechdauer und Zuhöranforderungen angepasst werden (z.B. Segmenting Principle; siehe Kap. 3.4.2).

Wie oben dargestellt enthält der Schulalltag lange Phasen von Unterrichtszeit, in denen zugehört werden muss. Auch die Radiosendungen des Kinderfunkkollegs sind mit einer Länge von 10-12 Minuten zu lang und informationsdicht für erfolgreiches sinnverstehendes Zuhören. Es braucht also den bewussten Einsatz von Ansätzen zur Zuhörförderung. Von besonderer Bedeutung sind hier die Regulation von Informationsmenge und Zuhöranforderungen, die Aktivierung von Vorwissen sowie konkrete Zuhöraufgaben. Auch Kontextoptimierung und Modalitätenwechsel müssen hier in den Blick genommen werden (Motsch, 2017; ausführlicher in Kap. 4.4.4).

2.4 Zwischenfazit

Behrens (2010, S. 34ff.) betont, dass aus pädagogischer Förderperspektive verschiedene Aspekte beachtet werden müssen, die zu einem gelungenen Zuhörprozess beitragen und den cognitive load der Lernenden verringern bzw. erhöhen können: Hören als physischer Vorgang, Hören als psychischer Prozess, Raumakustik, Konzentrationsfähigkeit, para- und nonverbale Merkmale, Vorwissen und situative Hinweise. In der Entwicklung von Zuhörkompetenz bzw. dem Verarbeitungsprozess von verbaler und nonverbaler Information (verknüpft mit kognitiven, sozialen und emotionalen Aspekten) spielen verschiedene weitere Kompetenzen eine Rolle (z.B. Sprachkenntnis, Weltwissen, Regulationsfähigkeit und Empathie), die sich im Laufe des Lebens verändern können und nicht alle in der vorliegenden Arbeit in den Blick genommen werden können. Imhof (2013, S. 98) stellt jedoch zwei Aspekte heraus, die pädagogisch beeinflussbar sind und für die Gestaltung von Unterricht berücksichtigt werden müssen:

- Das Berücksichtigen der Zuhörkompetenz der Adressaten im Sprachhandeln des Sprechenden: Dies kann die Sprache der Lehrkraft sowie im Fall der vorliegenden Arbeit die Sprache des auditiven Mediums sein.
- Geeignete Lernumgebungen und Lernaufgaben, die die Zuhörkompetenz der Adressaten fördern: Hier werden methodisch-didaktische Hinweise zum Einsatz sowie Höraufträge wichtig.

Aus diesen Aspekten leitet sich die erste der beiden Forschungsfragen dieser Arbeit ab:

F1: Was sind Gelingensbedingungen für den fachdidaktischen Einsatz auditiver Medien im sprachsensiblen Mathematikunterricht?

F1.1 Welche Kriterien können für schülergerechte auditive Medien identifiziert werden?

F1.2 Wie kann ein gewinnbringender fachdidaktische Einsatz aussehen?

Diese sollen im Folgenden aus der Literatur heraus beantwortet werden und im Anschluss an die Ergebnisdarstellung dieser Arbeit mit den empirischen Erkenntnissen ergänzt werden. Dazu sollen zunächst die Besonderheiten auditiver Medien auf sprachlicher und kognitiver Ebene anhand aktueller Forschungsergebnisse dargestellt werden, um aufbauend auf fundierten Erkenntnissen Gelingensbedingungen für den unterrichtlichen Einsatz zu entwickeln.

3. Auditive Medien als Lernmaterialien

Wie in der Einführung dieser Arbeit bereits angesprochen, haben auditive Medien durch den digitalen Wandel einen immensen Aufwind erfahren (Richardson, 2011). Als Live-Medium bot das Radio durch die zeitliche Bindung an bestimmte Sendetermine für den Unterricht eher eingeschränkte Möglichkeiten. Mit analogen und digitalen Speichermöglichkeiten jedoch wurde ein relativ problemloser Einbezug von Hörtexten möglich. Auditive Medien müssen somit neu definiert werden als „digitale Lermedien“ (Pleimfeldner & Bernius, 2013, S.32). Auch die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Radiosendungen sind durch die Bereitstellung auf der Online-Plattform des Kinderfunkolleg Mathematik als digitale Lernmedien nutzbar (Peters & Schreiber, 2020; Kap. 1.3). Mit dem Online-Format von Podcast und Internet-Radio wurden neben dem Angebot außerdem die fachdidaktischen Möglichkeiten des Einsatzes signifikant erweitert (Frederking et al., 2012):

> Für Deutschlehrer(innen) stellen Podcasts ein schier unerschöpfliches Reservoir an Hörtexten bereit. Das Spektrum reicht von authentischen lebensweltlichen über informatorische bis hin zu literarischen Texten. … Die kostenfreie Distribution bringt allerdings auch Probleme mit sich. – qualitativ Hochwertiges ist aus den vielen fragwürdigen Hörangeboten nur schwer bzw. zeitaufwändig zu ermitteln. … Allerdings gibt es trotz der skizzierten Probleme durchaus auch Ansatzpunkte für eine fruchtbare Einbeziehung des Radios in unterrichtliche Lehr-Lern-Prozesse. (S. 141)

Diese fruchtbare Einbeziehung bzw. der gewinnbringende Einsatz des Radios oder auditiver Medien im Allgemeinen wurde bereits aus verschiedenen Perspektiven beforscht und ist auch Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie. Dazu sollen im Folgenden nach einer Darstellung der Forschungslage (Kap. 3.1) und der Eigenschaften auditiver Medien (Kap. 3.2) Gelingensbedingungen für den fachdidaktischen Einsatz auditiver Medien aus zwei Perspektiven beschrieben werden: Zum einen sollen in Kapitel 3.4.1 fachliche, sprachliche und mediendidaktische Kriterien an schülergerechte auditive Medien identifiziert und formuliert werden, die eine fachdidaktisch begründete Auswahl ermöglichen. Zum anderen sollen aufbauend auf hördidaktischen Ansätzen konkrete Vorschläge sowie methodisch-didaktische Hinweise für die unterrichtliche Praxis beschrieben werden (Kap. 3.4.2 und 3.5). Unter Einbezug dieser beider Perspektiven kann der Einsatz auditiver Medien fachdidaktisch gewinnbringend gestaltet werden.

3.1 Forschungslage

Der eingangs angesprochene Wachstum des Angebots auditiver Medien führte zu Phänomenen, die durch Forschung begleitet und untersucht wurden. Beispielsweise wurde in den Vereinigten Staaten beobachtet, dass die gesteigerte Nutzung von Hörbüchern zu einer Steigerung der Lesekompetenzen führte, jedoch kein Garant für Fortschritte in anderen Sprachkompetenzen sei (Brown & Fisher, 2006). Weiterführende Forschungen im internationalen Raum zeigten, dass der Einsatz von Hörbüchern bei Sprachlernern verschiedene positive Effekte zeige wie eine Verbesserung in Lese und Hörkompetenz, im Wortschatz-Erwerb, Motivation sowie in Leseverständnis und -flüssigkeit (zusammenfassend Padberg-Schmidt, 2020, S. 36 und Padberg-Schmidt, 2022, S. 280). Weiterhin konnte in empirischen Fallstudien an deutschen Schulen gezeigt werden, wie durch die Unterstützung der Dekodierungsprozesse der Schüler:innen mit Audio-Input das Verständnis des geschriebenen Wortes erleichtert wird, (Padberg-Schmidt, 2020)

Auch im deutschsprachigen Raum gibt es ein großes Forschungsinteresse in Bezug auf auditive Medien. Ritterfeld et. al. (2006) untersuchen den Zusammenhang von auditiven Medien und Spracherwerb und liefern interessante Ergebnisse als Evidenz für Sprachlernprozesse, die durch die Rezeption von Hörspielen angeregt werden: Durch das Hören von Hörspielen werden Sprachstrukturen sowohl rezeptiv als auch produktiv besser beherrscht. Es zeigten sich hier vergleichbare und dauerhafte Lerneffekte sowohl bei sprachlich unauffälligen als auch bei sprachlich auffälligen Kindern. Außerdem handelte es sich dabei „nicht nur um Fast-Mapping-Effekte, die das Hörspiel ausgelöst hat, sondern ganz eindeutig um nachhaltiges Lernen“ (Ritterfeld et al, 2006, S. 66). Auf Fast-Mapping-Effekte soll im Kapitel 4.4.3 noch detailliert eingegangen werden.

Auch in Studien, die speziell Kinder mit spezifischen Sprachentwicklungsstörungen in den Blick nahmen, konnten hörspielbasierte Sprachlerneffekte nachgewiesen werden (Niebuhr-Siebert & Ritterfeld, 2012). Durch die Entwicklung einer speziellen Hörspielserie zur Sprachförderung (Ritterfeld et al., 2012) konnte gezeigt werden, wie auditive Medien sich zur Förderung der Bildungssprache bzw. der konzeptionellen Schriftlichkeit einsetzen lassen. Jedoch muss auch erwähnt werden, dass Kinder, denen die Verarbeitung sprachlicher Informationen schwerfällt, bildlastige den sprachlastigen Medien weiterhin vorziehen – trotz oder auch wegen der produktiven Herausforderungen, die auditive Lernmaterialien bieten (Ritterfeld et al., 2012). Und auch bei der Untersuchung von Schüler:innen mit Legasthenie konnte eine Steigerung der Motivation sowie der Lesekompetenz durch die Verwendung

sowohl mutter- als auch fremdsprachiger Hörbücher festgestellt werden (Padberg-Schmidt, 2022).

Im Hinblick auf den Zusammenhang von auditiven Medien und Spracherwerb sind Parallelen zu den Ergebnissen von Untersuchungen zu Vorlesesituationen erkennbar, die als zentraler Erwerbskontext literater Strukturen gelten (Müller-Brauers et al., 2017): Es zeigte sich, dass Kinder in der Nacherzählung des Gehörten sprachliche Strukturen verwenden, die sie vermutlich nicht in ihrer Alltagskommunikation erworben haben. In vielen Analysebeispielen lasse sich strukturelle Einpassungen erkennen, die zeigen, dass syntaktische Merkmale aus dem Gehörten (zumindest) in Teilen übernommen wurden und somit als formelhafte Ausdrucksmuster in ähnlichen Kommunikationssituationen eine kognitive Entlastung darstellen (Müller-Brauers et al., 2017; siehe dazu Kap. 2.1.4). Als wichtiger Faktor für diesen Effekt dient dabei die Frequenz der dargebotenen Strukturen. Ganze Phrasen können einfacher im Input identifiziert, tiefer verankert und sich somit besser an die sprachlichen Strukturen des Gehörten erinnert werden (Müller-Brauers et al., 2017). In Projekten wie den Digitalen Hördetektiven (Naphegyi, 2021) werden diese Erkenntnisse umgesetzt und literal-ästhetische Sprache in Bilderbüchern als Teilbereich der Bildungssprache in Kombination mit der niederschwelligen Bereitstellung von digitalen Hörtexten genutzt, um literale Kompetenzen aufzubauen. Dieses Potenzial wird auch für den Fremdsprachenunterricht genutzt und untersucht (Padberg-Schmidt, 2020).

Neben dem Bereich des Spracherwerbs und der Sprachförderung besteht auch eine große Forschungslandschaft in Bezug auf den Zusammenhang von auditiven Medien und Zuhörkompetenz. Die Stiftung Zuhören hat dieser Kompetenz mit der ‚Edition Zuhören' eine eigene Reihe gewidmet, deren Beiträge auch zur Erstellung von Kapitel 2.3 herangezogen wurden (z.B. Imhof, 2003). Innerhalb dieser Reihe sind einige Beiträge erschienen, welche die Förderung von Zuhörkompetenz durch den Einsatz auditiver Medien in den Blick nehmen. Auch viele Praxisartikel und ganze Zeitschriften widmen sich dem Thema Zuhören im Zusammenhang mit auditiven Medien und machen sie so in der didaktischen Diskussion präsent. So nimmt beispielsweise die Grundschulzeitschrift 2014 ein Themenheft zu Hörmedien ins Programm. Auch die Arbeit mit den Radioangeboten des Kinderfunkkollegs, die Gegenstand dieser Arbeit sind, wurden bereits in Praxisbeiträgen veröffentlicht (Peters & Schreiber, 2018; Peters, 2019) und sind auch in Fortbildungen und Workshops für Lehrkräfte ein gefragtes Thema (z.B. Schulportal Hessen[8], Landesfachtag Medienbildung und

[8] Das Schulportal Hessen ist eine Online-Plattform für Fortbildungen und Workshops des Hessischen Kultusministeriums und der Hessischen Lehrkräfteakademie (https://schulportal.hessen.de).

Digitalisierung[9], Teacher Education @nd Media[10] etc.). Dabei ist für den unterrichtlichen Einsatz zwischen kommerziell-erstellten und privaten Podcasts sowie zwischen Hörtexten mit und ohne literale Grundlage zu unterscheiden. Im Hinblick auf die Lerngruppe und die Lernziele müssen diese nach didaktischen Kriterien untersucht und für geeignet befunden werden, bevor sie für den Einsatz im Unterricht ausgewählt werden. Dies soll durch die nachfolgenden Ausführungen ermöglicht werden.

Ein weiterer Aspekt, der im Zusammenhang mit auditiven Medien betont und beforscht wird, ist das Entwickeln von Vorstellungen beim Hören. Wermke (2010) spricht hier von einer Verschränkung von Wahrnehmung und Vorstellung:

> Hören als aktive, selektiv, sinnstiftende Wahrnehmungsleistung setzt Vorstellungen voraus, die ihrerseits auch von auditiven Erfahrungen gespeist werden. Für eine Hörerziehung ist es daher wichtig, neben der genauen Beobachtung die Imagination zu fördern. (S. 185).

Da es in Hörspielen keine äußere Bühne gibt, auf der Figuren und Bilder gezeigt werden, können und müssen solche Imaginationen im Inneren der Rezipient:innen entstehen. Diese „imaginative Vergegenwärtigung sinnlicher Wahrnehmungen ist ein grundlegender Aspekt (literar-)ästhetischer Erfahrung“ (Spinner, 2006, S. 8). Dies ist Herausforderung und Chance zugleich und sollte deshalb im Sinne Wermkes (2010) durch Ansätze einer Hördidaktik begleitet werden. Unterrichtspraktische Hinweise zur Anregung von Vorstellungen sind beispielsweise bei Müller (2012, S. 171f.) zu finden.

Auch die mathematikdidaktische Forschung hat begonnen, die Potenziale auditiver Medien zu untersuchen. Leuders (2012) zeigte durch die Arbeit mit blinden Kindern, dass auditive Materialien zur Verdeutlichung mathematischer Begriffe beitragen können. Rink und Walter (2020) demonstrieren anhand ihrer App ‚Sachrechnen 2.0‘, wie Kindern mit Schwierigkeiten beim Lesen durch auditive Unterstützung geholfen werden kann, Inhalte und Aufgaben zu verstehen, ohne dass dabei sinnentnehmendes Lesen zur Lernhürde wird.

Doch was zeichnet auditive Medien eigentlich aus? Und wie können sie auch im Mathematikunterricht ein Potenzial darstellen? Die bisherigen Forschungsergebnisse beziehen

9 Der Landesfachtag Medienbildung und Digitalisierung vom Kultusministerium Hessen findt einmal im Jahr statt und bietet ein umfangreiches Informations und Workshopangebot für Lehrkräfte (https://kultusministerium.hessen.de/digitalisierung/medienbildung/landesfachtag-medienbildung-und-digitalisierung)

10 Innerhalb des Te@m-Projektes an der Justus-Liebig-Universität Gießen werden die Medien- und Medienbildungskompetenzen von Lehramtsstudierenden sowie von Lehrkräften durch vielfältige Workshops und Vorträge von Expert:innen aus Fachdidaktiken und Praxis gefördert. Das Projekt verfolgt das Ziel, die Teilnehmenden zu einem mündigen und didaktisch-reflektierten Einsatz digitaler Medien im Rahmen von Lehr- und Lehrprozessen zu befähigen“ (https://www.uni-giessen.de/de/fbz/zentren/zfl/projekte/medien/team).

sich vor allem auf den Deutsch- und Fremdsprachenunterricht sowie auf die Fächer Musik, Politik und Geschichte. Und auch in der mathematikdidaktischen Arbeit von Rink und Walter (2020) stellt die auditive Darstellungsebene ein zusätzliches Unterstützungsangebot und nicht die vordergründige Wissensvermittlung dar. Aus diesem Grund sollen nachfolgend – nach einer Darstellung der Eigenschaften auditiver Medien – im Hinblick auf die am Ende von Kapitel 2 aufgeführten Forschungsfragen zunächst Kriterien zur Auswahl auditiver Medien für den Mathematikunterricht entwickelt und weiterführend Ansätze einer Hördidaktik für den Mathematikunterricht abgeleitet werden.

3.2 Eigenschaften auditiver Medien

Medien präsentieren die Darstellungsformen und machen sie für den Lernenden sichtbar oder hörbar. Nach Ballstaedt (1997) kann der Begriff Medium zum einen technisch und zum anderen semiotisch betrachtet werden, da ein Medium die Kombination ist aus einem technischen Gerät und der repräsentierten Darstellungsform (semiotischer Aspekt). Bezogen auf die Technik sind nach Ballstaedt (1997) die Aspekte Zugänglichkeit, Bedienbarkeit, Kompatibilität, Akzeptanz, und Rentabilität von Bedeutung. Auditive Medien sind diesbezüglich als einfach zugänglich, einfach bedienbar und kompatibel, breit akzeptiert, günstig und aus diesen Gründen als rentabel und sinnvoll einzustufen. Im Bereich der Semiotik unterscheidet Ballstaedt (1997) nach Aspekten wie Semantik, Syntaktik, Pragmatik und Literalität. Diese Aspekte können für jedes auditive Medium sehr individuell ausfallen, weshalb die beiden dieser Studie zugrunde liegenden auditiven Medien im weiteren Verlauf der Arbeit einer fachdidaktischen Analyse unterzogen werden sollen (Kap. 5).

Die wohl offensichtlichste und bedeutsamste Eigenschaft auditiver Medien ist die Vermittlung von Informationen allein über auditive Darstellung. Pleimfeldner und Bernius (2013) sprechen hier von „Einkanaligkeit“ (S.32), durch die nur der Hörsinn angesprochen wird. Im Gegensatz zur Synchronität von Darstellungsebenen (Walter, 2018) – der Möglichkeit verschiedene Darstellungen zu synchronisieren wie man sie in vielen multimedialen Anwendungen vorfindet – könnte man bei auditiven Medien also von einer Darstellungsisolierung sprechen. Es findet die Reduktion auf nur eine – die auditive – Darstellungsebene statt. Trotzdem muss hier keinesfalls ein verlorenes Potenzial befürchtet werden, da – wie in Kapitel 2.1.5 beschrieben – das visuelle Arbeitsgedächtnis und das Generieren von Vorstellungsbildern auch ohne visuellen Input angeregt werden kann. Außerdem kann, wie nachfolgend noch genauer betrachtet werden soll, durch diese produktive

Herausforderung der nicht angebotenen Synchronität der Darstellungsebenen eine Verlagerung kognitiver Beanspruchung stattfinden (Rink & Walter, 2020).

Auch Linneweber-Lammerskitten nutzt in seinen Lernvideos eine abgeschwächte Form der Darstellungsisolierung, um die Sprechertexte der Protagonist:innen als Scaffolding nutzbar zu machen: Die Sprechertexte stellen beispielhaft verwendete sprachliche Mittel dar, die den Lernenden die sprachliche Bewältigung ähnlicher Kommunikationssituationen ermöglichen können. Aus diesem Grund verzichtet er auf die visuelle Darstellung der Protagonist:innen selbst, sondern blendet ihre verschriftlichten Dialoge ein, „sodass einzelne sprachliche Wendungen leicht herausgeschrieben und für die anschließenden [Aufgaben] als Hilfsgerüst benutzt werden können“ (Linneweber-Lammerskitten, 2016, S. 23). Es können also sowohl inhaltliche als auch sprachliche Aspekte aus dem Gehörten herausgefiltert und übernommen werden. Die Lernvideos enthalten zwar visuelle Darstellungen von Modellen, Prozessen, Rechenverfahren etc. – wenn es jedoch um sprachliche Mittel geht, wird auch hier eine Darstellungsisolierung bevorzugt. Es wird also innerhalb eines audiovisuellen Mediums auf die Darstellung der visuellen sprachlichen Mittel reduziert. Diese Darstellungsisolierung kann zu einer kognitiven Aktivierung bzw. Verlagerung führen. Analog soll auch durch die Arbeit mit auditiven Medien durch Darstellungsisolierung die Aufmerksamkeit auf die sprachlichen Mittel gelenkt werden.

3.2.1 Sprachliche Besonderheiten

In der medien- und sprachdidaktischen Literatur werden auditive Medien (ob Hörspiel oder Radiobeitrag) aufgrund ihres Ausklammerns ikonischer Darstellungen als sprachlastige Medien bezeichnet (Ritterfeld & Langenhorst, 2011). Ihre Rezeption beruht allein auf Sprachverarbeitung – eine Eigenschaft, die dieses Medium, wie bereits beschrieben, besonders für die Spracherwerbsforschung interessant macht. Es ist kein alternativer visueller Input vorhanden und nicht-akustische Bilder treten zu keinem Zeitpunkt in Konkurrenz zum auditiven Input.[11] Nur Geräusche und Musik zur Untermalung unterstützen die auditive Informationsverarbeitung. Motsch (2017) schlägt für sprachfördernden Unterricht einen Modalitätenwechsel von rezeptiven, produktiven und reflexiven Phasen vor. Die Nutzung eines auditiven Mediums stellt in diesem Sinne eine sprachlich-rezeptive Phase dar, auf die dann eine

[11] Studien zum “multimedia principle” (Mayer, 2005, S. 31) zeigen, dass dies sehr häufig von Schüler:innen weniger als Konkurrenz, denn als willkomene multimodale Unterstützung gesehen wird und dem nachhaltigen Lernen dient. Wie in Kap. 2.1.4 und 2.1.5 beschrieben kann jedoch auch die monomediale Darstellung auditiver Medien positive Effekte haben. Dies soll hier ausdifferenziert und genutzt werden.

reflexive und produktive Phase folgen können. Aspekte der Sprachförderung im Zusammenhang mit auditiven Medien sollen in Kapitl 4.4.4 noch genauer erläutert werden.

Im Modell sprachlicher Nähe und Distanz (Koch & Oesterreicher, 1985) lassen sich auditive Lernmaterialien für den unterrichtlichen Gebrauch zuerst einmal als medial phonisch einordnen. Konzeptionell sind auditive Medien für Kinder in der Regel einerseits mündlich, da sie Alltagssprache gebrauchen, kindgerecht und situativ erklären. Gleichzeitig weisen sie auf konzeptioneller Ebene jedoch auch schriftliche Elemente der Distanz auf, da auch Fachbegriffe und bildungssprachliche Elemente genutzt werden. Auf diese Weise können die Rezipient:innen von der Mündlichkeit zur Schriftlichkeit geführt werden. Im besten Fall unterstützt dies die Rezipient:innen dabei, Fachsprache aktiv und passiv im Mündlichen sowie im Schriftlichen nutzen zu können.

Im Gegensatz zu geschriebener Sprache benennt Buck (2001, S. 4) drei charakteristische Merkmale gesprochener Sprache, die im Hinblick auf das Hörverstehen besonders wichtig sind und im Einklang zu den Gedächtnismodellen (z.B. Baddeley, 2007; Schnotz, 2005) stehen: „firstly, speech is encoded in the form of sound; secondly, it is linear and takes place in real time, with no chance of review; and thirdly, it is linguistically different from written language" (Buck, 2001, S. 4). Die Enkodierung durch Sound und die daraus resultierende auditive Informationsverarbeitung wurde in Kapitel 2.1.1 bereits eingehend beleuchtet, die linguistischen Unterschiede werden in diesem Kapitel und auch in der Entwicklung von (sprachlichen) Kriterien zur Hörverständlichkeit (Kap. 3.4.1) in den Blick genommen. Ein bisher noch nicht angesprochener, jedoch für das Verstehen von Hörtexten sehr bedeutender Aspekt ist die Linearität und Flüchtigkeit gesprochener Sprache – die „real time nature of spoken language" (Buck, 2001, S. 6). Gesprochene Sprache, die nicht aufgezeichnet ist, findet in Echtzeit statt, was bedeutet, dass sie nach einmaligem Hören verloren ist. Man kann nicht wie im geschriebenen Text zu einer bestimmten Passage zurückspringen, um eine wichtige Information wiederholt zu hören (Buck, 2001).

> Wer liest, kann auswählen, beiseite legen. Wer hört, ist dagegen unmittelbar ausgesetzt, bekommt oft genug nur Information pur. Ein ‚Zurückhören' ist nicht möglich, und auch das nachträgliche ‚zurechthören' mühsam, besonders mit unverbundenen und dichten Informationen. ‚Alle Infos sind drin!' heißt es in Kritikgesprächen geradezu beschwörend – nur, kommen sie auch wieder raus? (Wachtel, 2013, S. 13)

Zwar können Gesprächspartner:innen im Sinne des „collaborative listening" (Buck, 2001, S. 12) gebeten werden, Gesagtes zu wiederholen, jedoch werden sie selten eine Wiederholung in genau dem gleichen Wortlaut geben. Sprechende tendieren dazu, das Gesagte

umzuformulieren oder Beispiele zu geben, um dem vermuteten Verständnisproblem zu begegnen. In manchen Situationen ist dies jedoch nicht möglich oder sozial unerwünscht, und virtuell Sprechende (audiovisuelle Medien, Radio etc.) können um diesen Gefallen gar nicht erst gebeten werden („non-collaborative listening", (Buck, 2001, S. 12)). Die real-life nature führt dazu, dass Gehörtes meist beim ersten Anlauf verstanden werden muss, während die Verständnisgeschwindigkeit vom Sprechenden vorgegeben ist und die Rezipient:innen nicht im (Hör-)Text zurückblättern können, um Verständnislücken zu schließen: „all that remains is a memory, an often imperfect memory, of what was heard" (Buck, 2001, S. 6).

Durch die Möglichkeit, Tonaufnahmen anzufertigen, ist akustische Emission kompilierbar gemacht geworden. Sie wird auf Tonträgern gespeichert und vervielfältigt oder gestreamt, ist jederzeit abrufbar und verliert somit ihren flüchtigen Charakter (Jörg, 2000, S. 78). Somit wirken auditive Medien der Flüchtigkeit von Sprache entgegen und machen sie dezentral verfügbar. Für aufgezeichnete Sprache erlauben moderne Technologien also das Pausieren, Zurückspulen und Wiederholen von Gehörtem (Buck, 2001), allerdings müssen hier die Rezipient:innen die Technik individuell und selbstständig bedienen können, was nur in wenigen Situationen möglich ist. Es braucht also auch hier zum einen didaktische Methoden, um dem Aspekt der Flüchtigkeit von Sprache zu begegnen, wenn im Unterricht mit auditiven Medien gearbeitet werden soll. Zum anderen muss auch die technische Darbietung sinnvoll ausgewählt werden. Neben dem Abspielen über CD-Player oder Laptop im Plenum können für die selbstständige Erarbeitung auch Tablets oder sogar sogenannte Hörstifte – eine Kombination aus Lesegerät und MP3-Player dar – genutzt werden (Müller, 2012). Auf diese Weise kann sprachliche Information je nach individuellem Bedarf mehrfach wiederholt werden.

Auch Pabst-Weinschenk und Wachtel (2011, S. 93) führen die sprachlichen Eigenschaften von auditiven Medien aus und nennen ebenso wie Buck (2001) die Flüchtigkeit der Äußerungen und das durch die (oft) nicht vorhandene Wiederholbarkeit geforderte ad hoc-Verständnis. Sie betonen zusätzlich, dass auditive Medien im Gegensatz zu audiovisuellen Medien oder der face-to-face-Situation im Gespräch nicht situationsgebunden sind. Es sind keine Verweise auf Gegenstände in der Umgebung möglich, sondern ausschließlich sprachlich explizite Referenz auf Gegenstände. Diese sprachlich expliziten Referenzen erfordern die im Modell von Koch und Oesterreicher (1985) angesprochenen schriftsprachlichen Elemente der Distanz und stellen damit eine sprachliche Herausforderung, aber auch Chance für die Rezipient:innen dar, die didaktisch zu Nutze gemacht werden kann.

3.2.2 Kognitive Medienwirkungen

In Bezug auf die Nachrichten im Massenmedium Radio beschäftigte sich die Sprechwissenschaft bereits mit der Untersuchung, Beschreibung und Optimierung *kognitiver Wirkungen*. Vor allem wurden hier die Verständlichkeit (Hörverständlichkeit) bzw. das Behalten und Verstehen von Radionachrichten in den Blick genommen (Mattstedt & Apel, 2012, S. 375). Neben den eben beschriebenen sprachlichen Besonderheiten und Effekten sollen deswegen – aufbauend auf den in Kapitel 2.1 gelegten kognitionspsychologischen Grundlagen – diese kognitiven Wirkungen auch für auditive Lernmaterialien kurz beschrieben werden.

Kognitive Wirkungen beschreiben die „Eigenarten der Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung einer dargebotenen Information" (Mattstedt & Apel, 2012, S. 376). Dies schließt die bereits beschriebenen auditiven Informationsverarbeitungsprozesse und das Behalten und Verstehen von Nachrichten ein – als Vorgänge, durch welche die Rezipient:innen sich selbst und ihre Umwelt erkennen. „Demnach wird die Veränderung des Wissensbestands eines Rezipienten, also z.B. das Anreichern von neuem Wissen, als Medienwirkung verstanden" (Mattstedt & Apel, 2012, S. 376). Wichtig dabei ist die Verarbeitungstiefe als das Ausmaß dieser Auseinandersetzung mit der Bedeutung des auditiv dargestellten Sachverhaltes. Dieser Aspekt wird „Involvement" genannt (Mattstedt & Apel, 2012, S. 376). Größeres Involvement bedeutet dabei eine intensivere Verarbeitung und dadurch stärkere Beanspruchung von Aufmerksamkeitskapazität und Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses. Dies kann wiederum durch bessere Speicherprozesse zu dauerhaften Effekten auf das Langzeitgedächtnis führen. Ziel muss also sein – im Einklang mit den in Kapitel 2.1.4 dargestellten Erkenntnissen zum ‚germane load' (Swellller, 1998) bzw. zum ‚generative cognitive processing' (Mayer, 2021) – ein möglichst großes Involvement anzuregen. Unterrichtspraktische Möglichkeiten dies zu erreichen werden in Kapitl 3.4 erarbeitet.

Kognitive Aktivierung und Aufmerksamkeit

Bei der Wirkung von Bild und Ton auf die Lernleistung wird unterschieden zwischen dem Phänomen der kognitiven Aktivierung und dem der kognitiven Hemmung. „Durch kognitive Aktivierung soll prinzipiell ein tiefergehendes Verstehen erreicht werden, das auch zu einer besseren Wiedergabe von Sachverhalten beiträgt" (Fey, 2002, S. 332). Dies kann ein gutes auditives Medium durch ein „in Szene setzen" des Inhaltes sowie durch gute Erklärungen, Versprachlichungen und Begriffseinführungen schaffen. Kognitive Aktivierung kann dadurch gefördert werden, dass die Aufmerksamkeit des Lernenden angeregt und didaktisch sinnvoll gelenkt wird (Hinkelbein & Hoops, 1998). Dies geschieht auch durch auditive Medien: die

Aufmerksamkeit wird dadurch angeregt, dass die visuelle Ebene fehlt und die Rezipient:innen das auditiv Dargestellte konzentriert aufnehmen, verstehen und sich eine mentale Vorstellung aufbauen müssen.

Das Gegenstück zur kognitiven Aktivierung ist kognitive Hemmung, beispielsweise durch Überlastung, welche durch multimediale Anwendungen wie Videos oder Apps hervorgerufen werden kann. „Da bei den Lernenden durch vielfältige Informationspräsentationen und -darstellungen eine Reizüberflutung möglich ist, die sie von einer tieferen Informationsverarbeitung abhalten, kann es zu einer Lernhemmung kommen" (Fey, 2002, S. 332). Sweller et al. (1998) sprechen hier von der Gefahr des so genannten „Overload". Diese Gefahr ist umso höher, je reichhaltiger ein mediales Angebot gestaltet ist. In den Worten der cognitive load theory gesprochen werden die beschränkten kognitiven Ressourcen der Lernenden durch Reizüberflutungen von den aufgabenbezogenen Inhalten abgelenkt, anstatt sie darauf zu konzentrieren. Weiterhin kann kognitive Hemmung durch eine Verflachung der Lernsituation entstehen (Schröder et al., 2016). Dies geschieht z.B. dadurch, dass mit der auditiven auch die visuelle Darstellung direkt wie auf mitpräsentiert wird. Die Lernenden müssen auf diese Weise weder die sprachliche Darstellung verstehen noch sich visuelle Repräsentationen selbst konstruieren, sodass kognitive Aktivierung nicht zwingend stattfinden muss.

Es besteht bei multimodalen Medien also ein schmaler Grat zwischen kognitiver Aktivierung und Hemmung. Der Vorteil von rein auditiven Medien besteht darin, dass bei ihnen keine kognitive Überlastung durch Overload stattfinden kann (es sei denn dieser Kanal ist nur eingeschränkt verfügbar), dafür aber kognitive Aktivierung durch Aufmerksamkeitslenkung. Auch eine Verflachung der Lernsituation findet nicht statt, da die Wegnahme der Visualisierung eine Herausforderung des Arbeitsgedächtnisses darstellt. Eine mögliche Kritik bestünde jedoch in einer Überlastung durch Unterforderung, also einer kognitiven Hemmung durch das Bereitstellen von zu wenig Informationen oder Darstellungen. Im Unterschied dazu könnte die mentale Vorstellung oder einfaches Mitdenken auf allein einem Inputkanal für einige Lernende zu schwierig sein, sodass sie kognitiv gehemmt sind. Diese Lernenden könnten im Sinne der Binnendifferenzierung mithilfe von kognitive Aktivierung durch zusätzliche Darstellungen unterstützt werden. Laut Brünken und Leutner (2008) stellen mediale Unterstützungsangebote für Novizen Quellen von *germane load* dar, die den Wissenserwerb fördern, indem sie spezifische Verarbeitungsprozesse lenken. Leistungsstarke Lerner brauchen diese Hilfe allerdings nicht. Sie werden deshalb für sie zu überflüssiger Information, die sie nicht

vollständig ignorieren können. Auf diese Weise können mediale Unterstützungsangebote *Extraneous Load* hervorrufen und den Wissenserwerb reduzieren.

Beim Einsatz auditiver Medien findet durch die Darstellungsisolierung also kognitive Aktivierung und Aufmerksamkeitslenkung (Hinkelbein & Hoops, 1998) auf die sprachlich vermittelten Informationen statt. Dies kann eine Erleichterung im Sinne der Reduktion des Extraneous Load bedeutet. Gleichzeitig steigt jedoch der *germane load*, da die mentalen Vorstellungen selbst aufgebaut werden müssen. Aus diesem Grund lässt sich hier nicht per se von einer kognitiven Entlastung oder Belastung sprechen, sondern von einer Verlagerung der kognitiven Beanspruchung in die gewünschte Richtung (Rink & Walter, 2020). Auf diese Weise können mentale Ressourcen für reichhaltige mathematische Aktivitäten genutzt werden.

3.3 Hörverstehen

Gutenberg (2000) definiert Hörverstehen als einen Komplementärprozess aus drei Verstehensdimensionen:

> Der Komplementärprozess des Hörverstehens ist eine Einheit von auditiver Perzeption des geäußerten Sprechschalls, Verstehen des Gesagten als Rekonstruktion der sinnkonstitutiven Strukturen auf der Grundlage von Hörmustern, Verstehen des Gemeinten als Rekonstruktion des Intendierten bzw. unbewusst Mit-Ausgedrückten. Alle drei ‚Verstehensdimensionen' setzen gleichzeitig mit dem Beginn des Hörens ein. (S. 578)

Auch Buck (2001, S. 15f.) definiert drei Dimensionen des Hörverstehens:

- *Understanding words*: Wiedererkennen des Wortes und Verstehen seiner Bedeutung (ggf. durch Kontextaktivierung). Formen und Bedeutungen können dabei aus dem mentalen Lexikon abgerufen werden.
- *Processing idea units:* die Bedeutungen der einzelnen Wörter werden zusammengefügt, sodass die Bedeutung einer gesamten Aussage konstruiert werden kann. Ist dies erfolgt, brauchen die tatsächlich rezipierten Wortfolgen, Syntax etc. nicht mehr weiter abgespeichert werden – was bleibt ist eine Zusammenfassung der erfassten Bedeutung.
- *Processing connected discourse:* Da Informationen über mehrere *idea units* bzw. Aussagen verteilt sein oder sich entwickeln können, ist das Wissen über discourse level variables (z.B. connectors and pronouns or foregrounding) wichtig, um gesprochene Sprache zu verstehen.

Beide Einteilungsmöglichkeiten haben ihre Richtigkeit. Sie betrachten das Hörverstehen nur aus unterschiedlichen Perspektiven. Gemeinsam ist ihnen in jedem Fall die Tatsache, dass Gesagtes verstanden und Gemeintes (Gutenberg, 2000) bzw. Bedeutung (Buck, 2001) generiert

werden soll. Ziel dieses Hörverstehens ist somit neben dem Konstruieren einer semantischen Repräsentation des Gesagten vor allem: „building mental representations of meaning" (Buck, 2001, S. 27). Zusammengesetzt werden diese mentalen Modelle aus einer komplexen Synthese von Schlussfolgerungen über die eingehenden Informationen und dem Vorwissen der Rezipient:innen (siehe Kap. 2.1.5). Da Rezipient:innen zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen und Interpretationen kommen können, kann Hörverstehen als sehr individueller und persönlicher Prozess gedeutet werden (Buck, 2001). Dies wird auch in den Interaktionsanalysen der vorliegenden Studie sichtbar (Kap. 8).
Deshalb definiert Buck (2001) Hörverstehen folgendermaßen:

> It is the ability:
>
> - to process extended samples of realistic spoken language, automatically and in real time,
> - to understand the linguistic information that is unequivocally included in the text, and
> - to make whatever inferences are unambiguously implicated by the content of the passage. (S. 114)

3.3.1 Untersuchung von Hörverstehen

Im Hinblick auf unterschiedliche Dimensionen schriftlicher und mündlicher Produktion sowie lesender und hörender Rezeption wird neben Hör- und Leseverstehen auch in Schreib- und Sprechdenken unterschieden (Gutenberg, 2000). Durch ihre empirischen Fallstudien konnte Pabst-Weinschenk (2011) zeigen, dass ein gut ausgebildetes Hörverstehen auch das Sprechdenken fördert, was wiederum Vorteile für mündliche sowie schriftliche Kommunikation haben kann. Umgekehrt kann ein nicht vorhandenes Sprechdenken Indiz dafür sein, dass schon das Hörverstehen nicht erfolgreich war: „Und wer nicht frei in eigenen Worten etwas wiedergeben kann, hat es nicht verstanden. Das Sprechdenken und die dabei produzierten Äußerungen kann man also als Kontrolle für das Verständnis betrachten" (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 64). Können Schüler:innen Gehörtes in eigenen Worten wiedergeben, so zeigen sie eigenständiges Sprechdenken, was auf erfolgreiches Hörverstehen schließen lässt.

Ein weiterer Aspekt, der Hörverstehen sichtbar oder überprüfbar machen kann, sind Transferleistungen, die wiederum auf verinnerlichten Schlussfolgerungen beruhen. Buck (2001) fasst die Ergebnisse verschiedener Studien zusammen und zeigt auf, dass oft Elaborative Inferenzen in das mentale Modell des Gehörten eingebaut werden:

> … elaborative inferences, i.e. those not necessary to understand the text but which add to it, are also made while a text is being processed, and are often incorporated into the comprehenders mental representation of the text and what it is about. They found that after a lapse of some time,

> comprehenders were unable to distinguish between what was actually in the text and the inferences they had made while processing it. (Buck, 2001, S. 19)

Auch in der vorliegenden Studie sollen solche *elaborative inferences* erzeugt werden, die über die möglichen Schlussfolgerungen auf bzw. innerhalb der Textbasis hinausgehen. Durch Alltagswissen über Zufälle und Wahrscheinlichkeiten sowie geometrische Formen aus dem Alltag – um in den Inhaltsbereichen der hier untersuchten Lernumgebungen zu bleiben – können und dürfen *elaborative inferences* generiert und verarbeitet werden. Auch in den weiterführenden Transferaufgaben spielen Schlussfolgerungen dieser Art eine Rolle.

Im Hinblick auf diese Aspekte wird deutlich, dass Hörverstehen und Sprechdenken intrapsychische Vorgänge sind, die nicht direkt beobachtet werden können (Pabst-Weinschenk, 2011). Verstehen ist ein stark vom Individuum geprägter Prozess, der sich zwar qualitativ mit relativ großem Aufwand beschreiben lässt, aber bedingt durch seine Komplexität nur schwer quantifizierbar ist (Mattstedt & Apel, 2012, S. 389). „Beobachtet und analysiert werden können nur Äußerungen in Gesprächs- und Redezusammenhängen, die Rückschlüsse darauf zulassen, was vermutlich beabsichtigt war und was verstanden worden ist und wie Planungs- und Verarbeitungsprozesse funktionieren“ (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 59). Aus diesem Grund wird auch in der vorliegenden Studie das Hörverstehen in Interaktionsanalysen qualitativ rekonstruiert (Krummheuer & Naujok, 1999, Schreiber, Schütte Krummheuer, 2015; ausführlicher in Kap. 6.1.2 und 6.4.2).

Zwei Arten der Interaktion eigenen sich hierfür besonders: zum einen Sequenzen, in denen die Schüler:innen Gehörtes in eigenen Worten wiedergeben (oder zu wiedergeben versuchen) und zum anderen Sequenzen, in denen durch Höraufträge Vorstellungen sichtbar gemacht werden. Denn da das Produkt des Hörverstehens ein mentales Konstrukt oder eine mentale Repräsentation von Bedeutung ist, müssen den Schüler:innen, wenn ein externalisierter Beweis dieses Konstruktes notwendig wird, eine Möglichkeit zu ebendieser Externalisierung bekommen. Durch Aufgaben, in denen Hörverständnis externalisiert werden muss (mündlich, schriftlich oder ikonisch), können durch die Performanz in diesen Aufgaben Schlussfolgerungen auf den Grad oder die Stufen des Hörverstehens angestellt werden (Buck, 2001, S. 99). Nachfolgend sollen diese Stufen des Hörverstehens vorgestellt werden. Darauf aufbauend werdem Höraufträge, die das Hörverstehen abfragen können, sowie andere didaktische Hinweise für den Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht dargestellt.

3.3.2 Stufen des Hörverstehens

Wie schon in Kap. 2.1 dargestellt, können auditive Informationen nur wenige Sekunden im Arbeitsgedächtnis gespeichert werden. Wenn sie dort nicht weiterverarbeitet werden und auf diese Weise im Langzeitgedächtnis abgespeichert werden, gehen sie verloren. Auf der anderen Seite kann das eben Gehörte in dieser kurzen Zeitspanne wiederholt werden, ohne verstanden worden zu sein und auch ohne dass bewusst zugehört wurde (Pabst-Weinschenk, 2011). Hörverstehen setzt deshalb mit Aufmerksamkeit gesteuertes Zuhören und damit aktive Verarbeitungsprozesse voraus. „Zuhören im Sinne des Hörverstehens ist also ein aktiver und intentionaler Prozess“ (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 59) der Verarbeitung akustisch vermittelter Information (Kap. 2.3). Dieser Prozess findet im Kurzzeitgedächtnis statt:

> Durch Wiederholen (*rehearsal*) kommt es zu Kodierungsverstärkungen; die Informationen werden nach logischen Prinzipien umstrukturiert (*clustering*) und in Kategorien geordnet; daraus können Superzeichen gebildet werden (*chunking*). So baut der Hörer eine propositionale Mikro- und Makro-Struktur auf und verarbeitet Texte konzeptuell und strukturell. Diese Um- und Weiterverarbeitung der Informationen ist ein Konstruktionsprozess, der es ermöglicht, die Informationen in das Langzeitgedächtnis zu überführen. (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 60)

Dieser Konstruktionsprozess kann durch Ansätze der Zuhördidaktik verstanden und unterstützt werden. Beispielsweise werden sechs Hörstile bzw. Stufen des Hörverstehens unterschieden (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994), die gezielt angestrebt und zur Diagnose genutzt werden können und sollen.

- *Globales Hörverstehen:* Durch das Entnehmen einzelner Informationen, die man nach dem Kongruenzprinzip top-down erwartet, wird versucht, Schlüsselinformationen zu verstehen oder einen Überblick über die Textstruktur zu erlangen.
- *Selektives Hörverstehen:* Durch Höraufgaben oder das Wissen um das Vorkommen bestimmter Informationen in einem Hörtext kann die Aufmerksamkeit auf ebendiese gelenkt werden.
- *Selegierendes Hörverstehen:* Die Rezipient:innen entscheiden individuell, welche Inhaltsaspekte dem Hörtext entnommen werden, um ihn semantisch zu verarbeiten oder zusammenzufassen. Dies kommt authentischen Hörverstehensprozessen am nächsten.
- *Detailliertes Hörverstehen:* die Rezipient:innen erfassen den Hörtext im Detail inkl. Textstrukturen und Sprecherintonationen und können auf diese Weise anschließende ergänzende Aufgaben bearbeiten.

- *Reflektierendes Hörverstehen:* Informationen werden bewusst über das Clustering und Chunking in bereits angelegte Schemata semantisch integriert.
- *Totales Hörverstehen:* Selbst bei Muttersprachlern kommt dieser Stil kaum vor.

An der letzten Stufe lässt sich erkennen, dass diese Stufen des Hörverstehens zunächst für den Fremdsprachenunterricht entwickelt wurden. Im Sinne einer „Hörerziehung" (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 59) wird ihre Beachtung inzwischen jedoch auch darüber hinaus eingefordert. Auch in der vorliegenden Studie sollen diese Stufen des Hörverstehens im Rahmen der Interaktionsanalysen herangezogen werden.

Verständlichkeit im Allgemeinen und auch das Erreichen oder nicht Erreichen dieser Stufen des Hörverstehens sind jedoch abhängig vom Publikum. Dabei spielen Alter, Vorwissen und Erwartung der Zielgruppe eine besondere Rolle (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011). Aus diesem Grund braucht es sowohl auf Seiten der Produzenten als auch auf Seiten der Lehrkräfte, die produzierte Beiträge in ihrem Unterricht einsetzen wollen, Kriterien zur Gestaltung bzw. zur Auswahl auditiver Medien, die an die Zielgruppe angepasst sind. Innerhalb der vorliegenden Arbeit sollen deshalb nachfolgend neben den didaktischen Ansätzen vorangestellt Kriterien schülergerechter auditiver Medien ausgearbeitet werden.

3.4 Gelingensbedingungen für den fachdidaktischen Einsatz auditiver Medien

Neben Sprechen, Schreiben und Lesen ist das Hörverständnis eine der vier Sprachkompetenzen, die für gelingende Kommunikation benötigt und erlernt werden (Buck, 2001, S. 96). Weil Sprechen und Hören einen so viel größeren Teil in der Kommunikation und Bildung einnehmen als Lesen und Schreiben (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011), ist die Bedeutung von Hörverstehen und seiner Förderung sowie von verständlichen Hörtexten so groß. Schon früh forderte Hildebrand (1962), dass der Fokus im Unterricht auf der gesprochenen und geschriebenen Sprache liegen sollte. Trotzdem konzentriert sich die wissenschaftliche Forschung und die Sprachlehre in der Schule stark auf die Schriftsprache (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011). Diese Minderbewertung mündlicher Rede wird als *Defizithyphothese* beschrieben (Geißner, 1988). Im Gegensatz dazu beschreibt die *Differenzhypothese*, dass geschriebene Sprache unter anderen Voraussetzungen entsteht als gesprochene. Dies führt dazu, dass auch andere Formen der Sprache möglich sind (situationsgebundene Aspekte, paraphrasische Mittel, und deiktische Mittel, einfachere grammatische Formen etc.), die die Verständlichkeit erhöhen (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011). Sprechgrammatik sorgt dabei „für notwendige Vereinfachungen, Wiederholungen, Situationsbezug und Anschaulichkeit" (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011). Für die Hörtexte auditiver Medien, die zum Großteil auf

mündlich reproduzierbarer Textgrundlage basieren (Manuskripte), sind also sprechwissenschaftlich begründete Methoden sinnvoll, welche die Unterschiede zwischen mündlicher und schriftlicher Kommunikation in den Blick nehmen, um nachhaltiges Texthörverständnis zu ermöglichen. Denn für gelingendes Hörverstehen muss schon das Schreiben der Hörtexte „von einem Schreib-Lese-Denken zu einem Schreib-Sprech-Denken werden“ (Gutenberg, 2000, S. 580). Dazu dürfen nicht die Sprechstile etwa von Nachrichtensprecher:innen übernommen werden, die in ihrer größtenteils schriftsprachlichen Sprache der Distanz nicht nur jüngere Rezipient:innen überfordern. Vielmehr soll beim Vorbereiten der Hörtexte von den Voraussetzungen der Rezipient:innen ausgegangen werden: „die Hörmuster und Verstehensregeln sind das Kriterium für Nachrichtensprach- und Sprechstil“ (Gutenberg, 2000, S. 580).

Als Grundlage für gelingendes Sprechen von Texten kann aus diesem Grund das Prinzip „Schreiben fürs Hören“ (Wachtel, 2013) genutzt werden, welches in Kapitel 3.4.1 detailliert dargestellt werden soll. Dabei kann als grundsätzliches Ziel für Hörverständlichkeit festgehalten werden: Den Zuhörenden soll ermöglicht werden, „den berichteten Vorgang Schritt für Schritt nachzuvollziehen, die Kernaussagen zu erkennen und zu behalten, den Gesamtzusammenhang der Meldung zu erfassen, auch Einzelheiten zu beachten“ (Gutenberg, 1994, S. 581). Die Kriterien zum Erreichen dieses Ziels lassen sich systematisch folgenden drei Aspekten zuordnen (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011, S. 95):

1. Denkstil (Stringenz, logischer Aufbau etc.)
2. Sprachstil (Satzkonstruktionen, Wortwahl, Formulierungen) und
3. Sprechstil (Intonation, Sinnschritt-Pausen etc.)

Ausführliche Regelkataloge zu allen drei Aspekten finden sich z.B. bei Wachtel (2013) oder Pabst-Weinschenk & Wachtel (2011). Um einen gelingenden Einsatz auditiver Medien im Unterricht zu gewährleisten, ist es weiterhin notwendig Beiträge zu wählen, die neben den drei eben genannten Aspekten auf sprachlicher Ebene das Verstehen des Hörtextes auch durch förderliche Aspekte auf technischer und gestalterischer Ebene ermöglichen und unterstützen. Aus diesem Grund sollen nachfolgend „Kriterien der Hörverständlichkeit“ (Pabst-Weinschenk & Wachtel, 2011, S. 95) im Hinblick auf den Mathematikunterricht in der Grundschule entwickelt bzw. von bestehenden Kriterienkatalogen abgeleitet werden, um damit die Forschungsfrage F1.1 zu beantworten: *Welche Kriterien können für schülergerechte auditive Medien identifiziert werden?*

3.4.1 Kriterien schülergerechter auditiver Medien

Ordolff & Wachtel (2014) halten für das Schreiben von Fernsehtexten fest: „Grundsätzlich gilt: Was sich nachlesen lässt, kann kompliziert sein. Alles, was beim einmaligen Hören unverständlich ist, hat in einem Fernsehtext nichts zu suchen“ (S. 19). Gleiches gilt erst recht für Radioressourcen bzw. auditive Medien. Sie müssen inhaltlich wie sprachlich verständlich sein und deshalb nicht nur durch didaktische Reduktion inhaltlich an ihre Zielgruppe angepasst werden, sondern auch zum sprachlichen Niveau der Zielgruppe passend produziert oder passend ausgewählt werden (Ordolff & Wachtel, 2014).

Das wohl wichtigste Merkmal auditiver Medien ist also – durch die Abwesenheit von Visualisierungen – die Sprachlastigkeit und damit der Fokus auf Sprachverarbeitung (Ritterfeld & Langenhorst, 2011). Im Hinblick auf sprachliche Anforderungen gilt dabei: „Der Versuch, eine sprachliche Überforderung zu vermeiden, führt zugleich zu einer inhaltlichen Verflachung der Lernsituation“ (Schröder et al., 2016). Auditive Medien dürfen und sollen also sprachlich herausfordernd sein. Trotzdem gibt es einige Kriterien, die bei der Produktion und bei der Auswahl geeigneter auditiver Medien beachtet werden müssen, damit sie verständlich und hörerfreundlich sind. Wachtel (2013, S. 11) begründet die Notwendigkeit solcher Kriterien in den drei Hauptproblemen von Audio-Texten: die fehlende Situierung von Informationen, die Verdichtung und die Unpersönlichkeit. Schülergerechte auditive Medien müssen diese Probleme durch fachliche, sprachliche und technische Qualität aufheben. Ob sie dies – passend zur jeweiligen Lerngruppe – leisten können, liegt im Ermessen der Lehrkraft. Aus diesem Grund müssen bei der Auswahl auditiver Medien Kriterien wie die Sprechgeschwindigkeit, Personifizierung und die Storyline in den Blick genommen werden (Padberg-Schmidt, 2020, S. 41). Um geeignete Medien für den Unterricht auszuwählen, müssen Lehrkräfte um diese Kriterien wissen und sie bei der Auswahl beachten.

Grundlegend können, abgeleitet von den idealtypischen Merkmalen für Videoclips nach Linneweber-Lammerskitten (2016, S. 22), folgende didaktische Kriterien festgehalten werden:

- Darstellung interessanter mathematischer Sachverhalte, die die Motivation zu eigenem Ausprobieren erzeugen, werden dargestellt.
- Bereitstellung nötiger Grundkenntnisse; die Intention bleibt dabei anregend, nicht belehrend
- Zum Ende hin Impulse, die zum eigenen Mathematiktreiben anregen
- Es werden nach Möglichkeit nur Materialien genutzt, die den Lernenden ebenfalls zur Verfügung stehen
- Öffentlich und kostenfrei zugänglich

Durch §47 des Urheberrechtsgesetzes ist rechtlich festgesetzt, dass Bildungseinrichtungen einzelne Vervielfältigungsstücke von Schulfunksendungen herstellen dürfen (also Sendungen herunterladen, speichern und/oder im Kollegium verbreiten), um sie im Unterricht zu verwenden. Die Audiodateien sind spätestens am Ende des auf die Ausstrahlung folgenden Schuljahres zu löschen. Vertiefend zu diesen allgemeinen Hinweisen können spezifische fachliche, sprachliche und technische Kriterien definiert werden.

Fachliche Kriterien

Grundsätzlich gelten für Radioproduktionen Grundsätze wie Objektivitätsverpflichtung, inhaltliche Ausgewogenheit und Sachlichkeit sowie die Beachtung „radiomarktwissenschaftliche[r] Fragen der zielgruppenspezifischen Formatierung" (Schwenke, 2018, S. 307). Bezogen auf schülergerechte Sendungen verlangt die fachliche Qualität neben der (mathematischen) Korrektheit der Sachverhalte und der Fachsprache auf Wort- und Satzebene vor allem auch die Reduktion des Inhaltes mit Blick auf die Zielgruppe, denn Verdichtungen und Verkünstlichung von Information sowie reine Faktenvermittlung erschwert das Hörverstehen (Wachtel, 2013). Im Sinne Geißners kann fachlicher Inhalt also nicht schreibdenkend vorbereitet werden, wenn er hörverstehend zu verarbeiten ist (Geißner, 1988, S. 174), sondern muss in seiner Struktur, fachlichen Aufbereitung und Komplexität auf die Mündlichkeit ausgerichtet sein.

> Sprechen darf nicht als Informationsübermittlung missverstanden werden: Nicht möglichst viele Informationen in kurzer Zeit, sondern eine sprechbare und hörverständliche Form und Verknüpfung von Informationen! (Wachtel, 2013, S. 20)

Im vorliegenden Fall müssen die mathematischen Themen einer didaktischen Reduktion unterzogen werden, um als Inhalt von Kinderradiosendungen geeignet zu sein. Weitab liegende Informationen können ausgeschlossen werden, Schritte eines Gedankenganges sortiert und so ein klarer Textverlauf entwickelt werden, der nicht zwischen mehreren Aspekten hin und her springt (Wachtel, 2013).

Auch passende Beispiele oder Aufgaben sind ein wichtiges fachliches Kriterium für schülergerechte auditive Medien. Inhalte ausschließlich medial mündlich darzustellen ist insbesondere für die Mathematik als schriftbasierte Wissenschaft nicht leicht. Gestik und Deiktika kann der Hörer nicht wahrnehmen, weshalb die Inhalte allein über Worte transportiert werden müssen (Wachtel, 2013, S. 2). Gerade für die Mathematik als schriftbasierte Wissenschaft stellt der Verzicht auf schriftlich-grafische Elemente eine besondere

Herausforderung dar. Meist ist es nicht „[…] ohne weiteres möglich, über mathematische Sachverhalte zu kommunizieren, ohne dabei etwas schriftlich aufzuzeichnen“ (Schreiber & Klose, 2014, S. 36; siehe auch Schreiber 2010, S.29). Deshalb ist es umso wichtiger, dass auditive Medien für den Mathematikunterricht diesen und den nun folgenden Kriterien entsprechen, um das Zuhören, Verstehen, Mitdenken und den Aufbau mentaler Vorstellungsbilder zu ermöglichen und zu fördern.

Sprachliche Kriterien

Bei der sprachlichen Analyse geht es nach Gutenberg (2000) um die Analyse von Verständlichkeit unter sprachlichen Gesichtspunkten, wobei ein hoher Grad an Schriftsprachlichkeit auf ein erschwertes Hörverstehen hindeutet. Bis auf O-Töne aus Interviews oder freigesprochene Podcasts in Dialogform, sind die meisten gesprochenen Texte auditiver Medien als „mündlich realisierte schriftkonstituierte Textsorte“ (Gutenberg, 2000, S. 574) zu verstehen – so auch beispielsweise die Sprechanteile der Moderatorin in den Sendungen des Kinderfunkkollegs. Es werden in der Aufzeichnung also schriftlich ausformulierte Texte vorgelesen und an ein imaginiertes Massenpublikum gesendet, das sich „aus vielen in diversen Hörsituationen befindlichen Einzelpersonen der anvisierten Zielgruppe des Senders zusammensetzt“ (Schwenke, 2018, S. 307). Gutenbergs Typusbezeichnung thematisiert das komplizierte Wechselverhältnis von Schriftlichkeit und Mündlichkeit dieser Textform (vgl. dazu Koch & Oesterreicher, 1985; Kap. 3.2.1). Schriftlichkeit ist hier konstitutiv für die Mündlichkeit auditiver Medien, die zwischen 'schriftgeprägter Mündlichkeit' und 'mündlich geprägter Schriftlichkeit' (Geißner, 1988) eingeordnet werden können: „ihre mündliche Realisierung ist schriftgeprägt, ihre Schriftkonstituiertheit ist mehr oder weniger mündlich geprägt“ (Gutenberg, 2000, S. 581). Radioformate können als „radiotheoretisches Phänomen“ (Schwenke, 2018, S. 307) bezeichnet werden, da sie intentional auf Wirkung ausgerichtet sind und dabei elaborierte Techniken anwenden und eine spezialisierte Verwendungsform der deutschen Sprache darstellen, für die sich mit Blick auf journalistische Literatur journalistische Standards als kodifizierte Stilnormen beschreiben lassen. Diese fokussieren in erster Linie Hinweise zum Schreiben (z.B. Wachtel, 2013) und damit die redaktionelle Arbeit. Sie beruhen vor allem auf Forschungen zur Hörverständlichkeit von klassischen Radionachrichten. Beispielsweise wurde 2008 ein bis dato einzigartiges interdisziplinäres Projekt mit Expert:innen aus der Sprechwissenschaft und der Nachrichtenredaktion öffentlich-rechtlicher Hörfunksender gestartet, innerhalb dessen Grundlagen und Forschungsergebnisse in einem ausführlichen Forschungsband zusammengestellt wurden (Bose & Schwiesau, 2012):

> Gegenstand ist der Zusammenhang von redaktionellen, sprachlichen und sprecherischen Faktoren bei der Nachrichtenproduktion und -rezeption, insbesondere die interdependente Wirkung von Text und Prosodiestruktur auf die Behaltensleistung von Nachrichtenhörern. (S. 9)

Aus den Ergebnissen dieser Forschung ließen sich Konventionen des journalistischen Schreibens stützen oder infrage stellen sowie weitere Regeln für das Schreiben und Sprechen von Radionachrichten beschreiben. Dieser besondere „Schreib-Sprechstil wird als spezifische rhetorische Fertigkeit *(techné)*" (Schwenke, 2018, S. 304; Herv. im Original) bezeichnet und bietet so Grundlage für die Formulierung von an die besondere Zielgruppe angepassten Kriterien schülergerechter auditiver Medien hinsichtlich ihrer sprachlichen Qualität.

Da die Situation der Rezipient:innen (hier außerdem mit der besonderen Zielgruppe im Alter von 8-13 Jahren) eine ganz andere ist als die von Lesern schriftlicher Texte, müssen sowohl Grammatik und Stil, als auch Inhalt und Form angepasst werden. Denn je komplexer der auditiv vermittelte Inhalt, desto einfacher strukturiert muss dessen Vermittlung erfolgen. In seinen Empfehlungen für das Texten fürs Hören spricht Wachtel (2013) von einer „Schreiblehre fürs Hören" (S. 58), die er auf sprechwissenschaftlichen und wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen aufbaut. Nennenswert ist hier beispielsweise Gutenbergs (2000) Kurzmodellierung von Schreibdenken für das Hörverstehen:

> Schreibdenken für Hörverstehen von Vorgelesenem ist dann der Prozess, der eine Sprachgestalt erzeugt, die lesend reproduziert werden kann, weil der Schreibprozess schon mögliche Schallformen antizipiert hat, die interdependent mit dieser Sprachgestalt produziert werden können, und weil der Schreibprozess diese Sprachgestalt genau dafür erzeugt hat, indem er sie nach den Gesetzmäßigkeiten der Interdependenz von Sprachgestalt und Schallform in Abhängigkeit von (möglichen) Sinnintentionen geformt hat. (S. 579)

Diese Modellierung kann mit sprachpsychologischen und psycholinguistischen Konzepten zusammengebracht werden. Auch die Kriterien zur Textoptimierung von Bastians (2018, S. 51) sind hier einzuordnen. Ziel des auf diesen Erkenntnissen aufbauenden Konzeptes *Schreiben fürs Hören* (Gutenberg, 1994; Gutenberg, 2000; Wachtel, 2013) ist das Verstehen beim einmaligen Hören. Informationsverdichtungen und Häufungen von Gedankengängen in einem Satz sollen deshalb vermieden werden (Wachtel, 2013, S. 55). Schwierige Aussagen sollen sinnvoll dosiert und wiederholt sowie längere Beiträge zusammengefasst werden. Redundanzen sind hier im Gegensatz zu Texten nicht nur toleriert, sondern sogar gewünscht, da die Wiederholung von wichtigen Informationen dazu führt, dass der Hörer jederzeit in den Beitrag einsteigen kann. Sie geben Orientierung, ermöglichen Verknüpfungen und somit das Hörverstehen (Wachtel, 2013, S. 45). Außerdem wirken Redundanzen der Flüchtigkeit

gesprochener Sprache entgegen. Eine klare Struktur, einfache Sprache und kurze, prägnante Sätze unterstützen die Verständlichkeit. Wachtel (2013) betont die Bedeutung von hörverständlichen (d.h. kleineren und selbstständigen) Sinneinheiten und empfiehlt, „möglichst keine Sinnschritte mit mehr als 10 Wörtern“ (S. 72) mit einem Kern pro Sinneinheit zu nutzen. Eine einfache Struktur bedeutet jedoch nicht, dass nur Hauptsätze genutzt werden sollen. Auch Satzgefüge, die verbundene Sinnschritte darstellen, können hörverstanden werden, jedoch sollte hier die Anzahl der Wörter pro Sinnschritt auf sechs reduziert werden (Gutenberg, 2000). Nebensätze sollten möglichst nebenordnend, nicht unterordnend sowie immer kurz und logisch aufeinander folgend sein (Wachtel, 2013, S. 56f.). Da davon ausgegangen wird, dass der Gesamtzusammenhang eines Satzes mit dem letzten Akzent erschlossen wird, muss die neue oder wichtigste Information (das Rhema) am Satzende genannt werden, um die Informationsvermittlung zu erleichtern (Schwenke, 2018, S. 309). Weiterhin sollte das Verb möglichst weit vorne stehen („verbal schreiben“, Wachtel, 2013, S. 77).

Eine logische, lineare Darbietung hilft den Rezipient:innen, den Inhalten folgen zu können, was den Verzicht auf Vorwegnahmen oder Rückbezüge mit sich bringt. Gesprochene Sätze müssen als eine Einheit vernommen werden (Wachtel, 2013). Denn wird ein Satz unverstanden im Kurzzeitgedächtnis gelagert, da erst im nächsten Satz der für das Verständnis erforderliche Fachbegriff oder Inhalt erklärt wird, können Informationen nicht „in einem Zug“ (Wachtel, 2013, S. 71) erfasst werden. Dies kann zu Interferenzen führen, durch die komplizierte Denkoperationen nötig werden, wodurch wertvolle kognitive Ressourcen verschwendet und die Konzentration auf das Nachfolgende verhindert werden. Dies ist eine kognitive Belastung im Sinne des ‚intrinsic cognitive load‘ (Sweller et al., 1998). Weiterhin empfiehlt Wachtel (2013), eher Aktiv als Passiv zu verwenden, da Passivkonstruktionen meist länger sind als Aktivformen und deshalb auch schwerer zu verstehen sind. Außerdem „lassen aktive Verbformen beim Hören Bilder entstehen“ (Wachtel, 2013, S. 63), was im Sinne der Erkenntnisse bzgl. mentaler Vorstellungen ist (Kap. 2.1.5 und 2.2).

Längere Textpassagen können durch Sprechpausen sowie besondere Töne oder Musik entzerrt werden, jedoch sollten diese Einspielungen die Rezipient:innen nicht zusätzlich ablenken und nicht zu lang sein. Auch ein – abgrenzend vom Schriftlichen – eher teilnehmender als objektiver, eher situativer als abstrakter Sprachstil kann das Hörverstehen erleichtern Müller 2012, S.16-26). Durch die Berücksichtigung dieser sprachlichen Kriterien können auch herausfordernde auditive Informationen Schüler:innen leichter zugänglich gemacht werden. Zusätzlich können die Transkripte der Hörtexte oder Ausschnitte von ihnen zur Differenzierung eingesetzt werden. Aus diesem Grund kann auch das Vorhandensein dieser als ein Kriterium

zur Auswahl auditiver Medien für den Unterricht festgehalten werden (Pleimfeldner & Bernius, 2013).

Mediendidaktische Kriterien

Ganz grundlegend kann die Verfügbarkeit als erstes Kriterium aus mediendidaktischer Perspektive festgehalten werden. Oft wird der fachdidaktische Einsatz schon dadurch entschieden werden, ob ein auditives Lernmedium jederzeit (im besten Fall auch offline) zur Verfügung steht oder nur als Live-Medium gestreamt wird. In zweiten Fall bestehen nur eingeschränkte Möglichkeiten für den Unterricht. Sind auditive Medien jedoch als „digitale Lermedien" (Pleimfeldner & Bernius, 2013) langfristig im Internet gespeichert und für den Download freigestellt, bietet diese Verfügbarkeit die Möglichkeit, vertiefend mit den Hörtexten zu arbeiten.

Mediendidaktische Kriterien, die es bei der Analyse und Auswahl schülergerechter auditiver Medien zu beachten gilt, beschreiben technische und gestalterische Elemente der Produktion wie beispielsweise das Format, als welches es geplant wurde, die Länge, Soundeffekte etc. Diese sollen im Folgenden beschrieben werden.

Länge und Struktur der Beiträge

Die Aufgabenanforderung in einer Zuhörsituation ist abhängig von qualitativen und quantitativen Bedingungen, die bei der Auswahl oder Produktion auditiver Medien beachtet werden sollten (Imhof, 2002, S. 55ff). Dazu gehören Aspekte wie die Sprachqualität des Sprechenden (Lautstärke, Aussprache, Sprachregister), die Struktur der Inhalte, Geräuschkulisse und quantitative Aspekte wie die Länge des auditiven Inputs und die Informationsdichte. Bezüglich der Rezeptionsbasis auditiver Medien hat sich das Magazinmuster „als Norm für Kurzbeiträge 1'30'' (1 Minute 30 Sekunden) durchgesetzt mit einer Anmoderation von ca. 30 Sekunden und bis zu 3 Minuten Musik" (Wermke, 2000, S. 127). Ein großer Teil der Kinderhörspiele ist nach diesem Wechselschema zwischen Erzähler, Szene und Musik analog zu dem Wechselschema zwischen Moderator und Bericht aufgebaut. Die inhaltliche Gliederung wird dabei dieser Vorgabe angepasst, was auch im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* in Ansätzen zu erkennen ist.

Soundeffekte als Signale und Markierungen

Auditive Medien sollten so gestaltet sein, dass sie Aufmerksamkeit und Konzentration anregen. Nach Imhof (1995) beansprucht Konzentration (ebenso wie das Zuhören im Vergleich zum

Hören) mehr kognitive Kapazität und ist durch die intentionale Selektion und Integration von Informationen als eine intensivere Form aufmerksamen Verhaltens zu verstehen. Aufmerksamkeit ist also umgekehrt Grundlage für konzentriertes Verhalten. Bzgl. auditiver Informationsverarbeitung kann Aufmerksamkeit durch akustische Veränderungen (also neue oder unerwartete Reize) erregt werden (Hagen, 2006, S. 46). Dies kann (muss aber nicht zwingend) zu bewusster Konzentration auf den nachfolgenden Inhalt führen. In auditiven Medien können und sollten solche akustischen Veränderungen durch Soundeffekte erzeugt werden, die durch bedeutungstragende, handlungsbegleitende Klänge erzeugt werden.[12] Bestimmte Klänge oder Töne können zur Markierung von wichtigen Begriffen oder Phrasen dienen. Durch Sprecherwechsel, beispielsweise das Auftreten eines Experten, kann signalisiert werden, dass eine relevante Hintergrundinformation oder Meinung folgt.

Auch Musik kann als akustische Veränderungen Aufmerksamkeit erregen und dabei verschiedene strukturierende und dramaturgische Funktionen übernehmen. „Sie kann Zusammenhänge herstellen, Zeitsprünge deutlich machen oder fehlende Geräusche ersetzen“ (Ordolff & Wachtel, 2014, S. 89). Werden Geräusche nicht durch Musik ersetzt, sondern authentisch dargestellt, können sie die Funktion eines Textes übernehmen. „Gerade wenn Geräusche Symbolcharakter haben, sagen sie mehr aus als viele Worte“ (Ordolff & Wachtel, 2014, S. 93). Auch die Beiträge des Kinderfunkkollegs arbeiten mit abwechslungsreicher Gestaltung, Soundeffekten, musikalischen Elementen und Geräuschen als Mittel zur Aufmerksamkeitssteuerung (Kap. 5).

Das Format „Feature“

Es gibt verschiedene Arten von Radio- und TV-Formaten – die Nachrichten, die Reportage, die Dokumentation etc. Da die Radiosendungen des Kinderfunkollegs Mathematik als Feature geplant und produziert wurden, soll im Folgenden dieses Format kurz beschrieben werden. Als Features werden Hörfunksendungen bezeichnet, „die sich als Vorlesen 'gebauter Beiträge' verstehen“ (Gutenberg, 2000, S. 577), denen trotz mündlicher Realisierung eine primäre Schriftlichkeit zugrunde liegt, auch wenn durch die Darbietungsweise teilweise ein spontanes Sprechdenken suggeriert wird. Laut Ordolff und Wachtel (2014) ist ein Feature fast immer ein Hintergrundbericht und keine tagesaktuelle Story, in der die Hintergründe zu einem speziellen Thema in einer Mischung aus verschiedenen Genres dargestellt werden. Es können z.B.

[12] Abzugrenzen sind diese Soundeffekte von Jingles, die wie ein akustisches Logo oder Etikett eine Sendung einführen bzw. beginnen und somit für die Wiedererkennbarkeit der Sendung eine wesentliche Rolle spielen (Schwenke, 2018).

Elemente von Reportage, Kommentar und Dialog oder Interview sowie mehrere Schauplätze miteinander verbunden werden. Die einzelnen Elemente werden durch den technischen Vorgang der Montage zusammengefügt (Müller, 2012). „Dabei ist die Vorgehensweise des Autors entscheidend. Er verknüpft die verschiedenen Handlungsebenen. Damit bestimmt er, wie dem Zuschauer die ‚Wirklichkeit' präsentiert wird" (Ordolff & Wachtel, 2014, S. 107). Dies macht das Feature spannungsvoller und subjektiver als die Dokumentation und begründet seinen kennzeichnenden Wechsel zwischen Schilderung und Schlussfolgerung, durch den anschaulich an einem Beispiel Allgemeingültiges aufgezeigt werden kann (Ordolff & Wachtel, 2014).

O-Töne: Expert:innen und Protagonist:innen

Einen wesentlichen Bestandteil von Features stellen die Originaltöne (O-Töne) dar. Diese sind Aussagen von befragten Personen, sollten gut gewählt sein und ein substantielles Statement enthalten (Ordolff & Wachtel, 2014, S. 73). Sie können verschiedene Funktionen erfüllen wie beispielsweise das Darstellen von Expert:innenmeinungen, das Beschreiben von Erlebnissen und Vorgängen, die sich bildlich nicht zeigen lassen, oder das Wiedergeben von markanten oder originellen Aussagen. In den hier untersuchten Sendungen lassen sich Beispiele für alle diese Funktionen finden: In beiden Sendungen werden durch O-Töne von befragten Experten (Mathematikprofessor, Mathematiklehrer) substantielle Statements gegeben und eine wissensvermittelnde Autorität gestellt. Auch originelle Aussagen werden auf diese Weise wiedergegeben wie beispielsweise die Beschreibung vom Quadrat als „Königin der Vierecke" (MV, Z. 115) in der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?*. In der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* erfüllen die O-Töne in der Darstellung der Streit- und Spielsituation zusätzlich die Funktion des Beschreibens von Erlebnissen und Vorgängen, die sich bildlich nicht zeigen lassen. O-Töne müssen an- und abgetextet werden, wobei dies nicht immer durch explizite Ankündigung, sondern auch durch ein Vorbereiten durch den Text geschehen kann.

Neben wissensvermittelnden Expert:innen haben auch kindlichen O-Töne bzw. die kindlichen Protagonist:innen eine spezifische Funktion. Sie stellen mit ihren Nachfragen oder vereinfachten Äußerungen „Inseln der Verständlichkeit im Meer der Abstraktion" (Lampert & Wespe, 2012, S. 27) bei komplizierten Themen dar. Zwischen den komplexen Aussagen der Expert:innen sorgen sie für Pausen und damit für Zeit zum Verstehen. Außerdem können die kindlichen Rezipient:innen sich mit ihnen personifizieren, was wiederum die Lernwirksamkeit steigert:

> Jede Mitteilung und jeder Bericht ist in personifizierter Form besser und unmittelbarer nachzuempfinden als abstrakte Faktenaufzählung. Ein Boulevardmedium versucht deshalb immer die Menschen handeln, erleben und erzählen zu lassen. Die Fakten haben Namen, Altersangaben, Berufsbezeichnungen etc. (Lampert & Wespe, 2012, S. 38)

Aus diesem Grund ist die Personifizierung ein wichtiges Merkmal schülergerechter Medien im Allgemeinen und sollte auch für auditive Medien berücksichtigt werden.

Storytelling: Anschaulicher Einstieg – prägnantes Ende

Der Einstieg eines Beitrages ist entscheidend für seine Wirkung, die Aufmerksamkeitssteuerung und damit für das Hörverständnis. Ein guter Einstieg geht über reine Information und das Abstecken eines thematischen Rahmens hinaus und weckt das Interesse der Zuhörer:innen (Ordolff & Wachtel, 2014). Dies kann erreicht werden durch sinnliches Erleben und Ansprechen der Emotionen oder die Anbindung an bekannte Kontexte. „Mit solchen Anbindungen an Bekanntes findet die Information ihre Abnehmer. Die Regel: Das Gesprochene an den Hörer binden: die gemeinsame Situation benennen“ (Wachtel, 2013, S. 42). Durch Storytelling können diese Elemente verknüpft und die Wirkung eines Beitrages vergrößert werden. Storytelling vermittelt Informationen in bzw. durch eine Rahmenerzählung, welche einen roten Faden sowie Protagonist:innen liefert, mit denen sich die Rezipient:innen identifizieren können. Dies erleichtert die Konzentration auf die Fakten und Inhalte (Ordolff & Wachtel, 2014, S. 79). Andersen hält fest:

> Wenn Menschen eine Geschichte verfolgen, konstruieren sie auf einer höheren situativen Ebene ein Modell der Geschichte, das länger behalten wird als die Oberflächenstruktur von Sätzen oder auch die einzelnen Propositionen, aus denen sich die Geschichte aufbaut. (Anderson, 2013, S. 295)

Auch Lampert und Wespe (2012, S. 23) sind überzeugt, dass kurze Beiträge in Radio und Zeitung mit Elementen des Storytelling mehr Aufmerksamkeit erzielen können. Schon mit wenig Storyarbeit können (Hör-)Texte klarer und verständlicher gemacht werden. Durch geschichtliche Rahmung wird ein abstraktes Thema in eine konkrete und greifbare Form gebracht. Die Autoren gehen sogar so weit zu sagen, dass es bei der Handlung um das „Herstellen von *Sinn“* geht (Lampert & Wespe, 2012, S. 72). Selbst wenn das Thema von sich aus keine Handlung anbietet, kann diese inszeniert werden und bestenfalls sollte jede Geschichte eine Kernaussage haben (Lampert & Wespe, 2012). Das Ende eines Features sollte dann abschließend die Inhalte und Fakten klar fokussieren und zusammenfassen, einen Ausblick in die Zukunft geben, ein Element des Anfangs wieder aufgreifen oder eine lyrische,

nachdenkliche oder humorvolle Anmerkung geben, da die Information am Ende oft als das Wesentliche eines Beitrages gewertet und abgespeichert wird (Ordolff & Wachtel, 2014, S. 82f.). Da durch die anschaulichen Elemente des Storytellings die Aufmerksamkeitssteuerung unterstützt werden kann, eignen sich – besonders auch für jüngere Schüler:innen – Features als das bevorzugte Audio-Format.

Weitet man den Blick von der linguistischen Literatur zum Hörverstehen hin zu wissensvermittelnden TV-Formaten, lassen sich weitere interessante Aspekte zu gestalterischen Kriterien auditiver Medien ableiten. Reich et al. (2005, S. 86f.) unterscheiden im Hinblick auf Qualitätskriterien für Lernsendungen vier Grundformen der Dramaturgie von Lernsendungen:

- *Personenorientierung*: eine Moderator:in oder Protagonist:innen werden bei ihren Lernprozess begleitet
- *Sachorientierung*: Klären eines Sachverhaltes, didaktisierte Struktur oder zu verfolgendes Experiment
- *Narrationsorientierung*: Rahmengeschichten/ Storytelling
- *Interaktionsorientierung*: Reaktionen der Rezipient:innen sind eingebaut

Die Autor:innen halten fest, dass bei allen Grundformen- oder Mischformen eine gewisse Personen- oder Interaktionsorientierung wesentlich sei. Um die Dramaturgie lernpsychologisch konkret und differenziert zu entfalten, sind jedoch zunächst die Einstiegspunkte in ein Thema, ein Problem, eine Situation oder ein Ereignis wichtig. Bei personen- oder narrationsorientierten Beiträgen eignet sich – wie auch im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* genutzt – oft eine soziale Frage oder eine konstruierte Situation, aus der heraus sich ein Problem ergibt, dem dann nachgegangen wird. Weitere Einstiegspunkte können spannende Zahlen und Fakten, logische Probleme, ästhetische Zugänge wie Musik oder Rhythmen, existenzielle Fragen oder Emotionen sein (Reich et. al, 2005, S. 88f.) Als Ziel werden auch hier das Wecken und Steuern der Aufmerksamkeit der Lernenden genannt. Weiterhin wird betont, dass die Lernpsychologie für größere Rezipient:innenkreise die Nutzung unterschiedlicher und wechselnder Einstiegspunkte für günstig hält, da die Rezipient:innen unterschiedlich lernen. Diese Einstiegspunkte stellen das erste der von Reich et al. (2005, S. 86) beschriebenen Qualitätsmerkmalen von Lernsendungen dar. Insgesamt beinhaltet die Liste:

1. die Vielfalt der Einstiegspunkte in ein Thema (Dramaturgie)
2. die Vielfalt von Wegen und Zugängen im Laufe der Sendung, um das Verstehen für unterschiedliche Lerner mit etlichen Anschlussmöglichkeiten und Interessenspunkten zu ermöglichen,

3. eine klare Vorstrukturierung und Modellbildung der jeweiligen Themenbereiche, um eine hinreichende Ordnung oder ein erkennbares Muster zu erhalten, an das kognitiv angeknüpft werden kann und das Metakognition fördert,
4. eine durchgehende Evaluation der Wirksamkeit der Lernsendungen, was mehr bedeutet, als nur auf die Quote zu achten.

Für die Vielfalt der Zugänge wird auf das Verständnis von Verstehen als Sinn-Konstruktion (d.h. dem Wahrgenommenen einen Sinn zu geben) verwiesen. Hier lässt sich die in Kap. 2.1.1 beschriebene Schemakonstruktion (Sweller et al., 1998) anführen. Darauf aufbauend bedeutet eine Vielfalt an Wegen und Zugängen zu bieten also, „individuelle Konstruktionsleistungen unterschiedlicher Lernender zu ermöglichen" (Reich et al., 2005, S. 89). Die Autoren gehen dabei von den Prinzipien der Anschlussfähigkeit, Komplexitätsreduktion, Überzeugungskraft des Modells, Perspektivenvielfalt und Integration des Wissens aus, welche das Verstehen für viele verschiedene Kinder ermöglichen. Unterschiedliche Lerntypen mit unterschiedlichen Gedächtniszugriffen bedeuten also individuelle Konstruktionsleistungen. Zur Vorstrukturierung, dem dritten Merkmal, zählen die schon erwähnte didaktische Reduktion und der linear logische Aufbau der Inhalte, die den Rezipient:innen das Mitdenken erleichtern. Das letzte Qualitätsmerkmal, die Evaluation der Wirksamkeit von Lernsendungen, ist ein Punkt, der in der Hektik von Produktion und Sendeterminen oft zu kurz kommt. Diese Arbeit soll einen Teil zur Evaluation der Wirksamkeit von auditiven Lernsendungen beitragen.

Analyse und Auswahl schülergerechter auditver Medien

Für die Auswahl geeigneter auditiver Medien für den Unterricht lassen sich also fachliche, sprachliche und technische Kriterien festhalten, nach denen die Medien analysiert, bewertet und ggf. an mögliche Schwierigkeiten angepasst werden müssen. Wachtel (2013) unterscheidet bei der Formulierung seiner Kriterien zur Textkritik von Hörtexten nach *Denkstil* und *Sprachstil* (Abb. 13). Mit dem *Denkstil* meint er den rhetorischen oder dramaturgischen Verlauf eines Hörtextes; mit dem *Sprachstil* die Form der Sätze.

Hörtexte beurteilen	
DENKSTIL	**SPRACHSTIL**
Informationswert	Satztiefe
Zielorientierung	Satzlänge
Originalität	Satzdichte
Stringenz und Pointierung	Anschaulichkeit
Klarheit	Kürze und Prägnanz
	Stilistische Varianz/Originalität

Abbildung 13: Kriterien zum Beurteilen von Hörtexten (entnommen aus Wachtel, 2013, S. 106)

Auf dieser Unterscheidung aufbauend formuliert er Fragen, die an den Hörtext gestellt werden können, um diesen zu beurteilen. Diese Fragen sollen hier in leicht angepasster Form dargestellt werden:

- Ist der Denk- und Sprachstil angemessen?
- Passen Denk- Sprachstil zueinander?
- Wird der Hörtext der unterrichtlichen Hörsituation gerecht?
- Ist er anschaulich genug?
- Wo gibt es Verstehensprobleme?
- Gibt es eine anschauliche Einführung?
- Sind die O-Töne rhetorisch sinnvoll oder nur formal eingesetzt?
- Denkstil vs. Sprachstil (S. 106)

Einige dieser Fragen können sicherlich nach einem ersten Höreindruck beantwortet werden, für andere braucht es eine genauere Analyse der Manuskripte. Aus diesem Grund sollen auch die Manuskripte der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Radiosendungen ausführlich analysiert werden (Kap. 5).

Auch die Ausführungen von Böhme et al. (2010) zeigen, dass es eine detaillierte Analyse von Hörtexten braucht, und wie diese aussehen kann. Die Autoren unterscheiden schwierigkeitsbestimmende Merkmale, die für das Lese- und Hörverstehen relevant sind, von schwierigkeitsbestimmenden Merkmalen, die nur für das Hörverstehen bedeutsam sind. Zu ersteren gehören vor allem Merkmale, die oben unter sprachlichen und fachlichen Kriterien beschrieben wurden. Die zweite Gruppe beinhaltet vor allem technische Merkmale sowie Aspekte der Aussprache wie Deutlichkeit, Pausen, Dialekt, Sprechgeschwindigkeit etc.

Schwierigkeitsbestimmende Aufgabenmerkmale sowohl für das Lese- als auch für das Hörverstehen	Mittlere Satzlänge
	Überlappung mit Grundwortschatz
	Verhältnis von Inhalts- und Funktionswörtern
	Redundante Repräsentation wichtiger Information
	Notwendigkeit von Vorwissen

Ergänzende Schwierigkeitsbestimmende Aufgabenmerkmale für das Hörverstehen	Aufnahmequalität
	Deutlichkeit der Aussprache
	Pausen zwischen Sätzen und Satzteilen
	Zahl & Unterscheidbarkeit der Sprecher:innen
	Sprechgeschwindigkeit bei wichtigen Informationen
	Hinweise auf wichtige Informationen
	Deutliche Betonung wichtiger Informationen

Tab. 1: Schwierigkeitsbestimmende Merkmale für das Lese- und Hörverstehen (nach Böhme et al., 2010, S. 90)

In der tabellarischen Darstellung (Tab. 1) wird deutlich, dass es somit für auditive Medien im Vergleich zu Texten weit mehr schwierigkeitsbestimmende Merkmale gibt, weshalb eine sorgfältige Analyse und Auswahl von enormer Bedeutung ist, um das Hörverstehen und die Informationsverarbeitung zu sichern. Einen Schritt zurück gedacht sollte sich auch die Produktion auditiver Medien an diesen Merkmalen orientieren.

Es kann also festgehalten werden, dass auditive Medien besondere fachdidaktische Möglichkeiten bieten, durch produktive Herausforderungen – nämlich das Ausbleiben visueller Information – auditive Informationsverarbeitung zu fördern. Sie bieten Wege zur Aufmerksamkeitssteuerung und fokussieren die verbale Wissensvermittlung. Sind sie auf allen beschriebenen Ebenen qualitativ hochwertig gestaltet, können sie fachliches und sprachliches Lernen anregen. Welche Kriterien hierzu beachtet werden müssen, wurde in diesem Kapitel ausführlich dargestellt. Zusammenfassend können diese Erkenntnisse in Anlehnung an Leisen & Seyfarth (2006, S. 11) ergänzt mit Leisen (2013), Pleimfeldner und Bernius (2013) und Wachtel (2013) in der folgenden Übersicht (Tab. 2) festgehalten werden:

Tab. 2. Merkmale des Hörverstehens (in Anlehnung an Leisen & Seyfarth, 2006, S. 11; ergänzt mit Leisen, 2013; Pleimfeldner & Bernius, 2013; und Wachtel, 2013

MERKMALE, DIE DAS HÖRVERSTEHEN ERLEICHTERN	MERKMALE, DIE DAS HÖRVERSTEHEN ERSCHWEREN	
Einfach: - bekannte Wörter und Fachtermini - einfache und klare syntaktische Strukturen (kurze Sätze) o Zentrales steht am Anfang oder Schluss - Zahlen, Einheiten, Eigennamen angehängt - Sätze mit angemessener Informationsdichte	**Kompliziert:** - (viele) unbekannte Wörter (neue Fachbegriffe) - komplexe syntaktische Strukturen (lange, verschachtelte Sätze) - Sätze mit hoher Informationsdichte - hoher Attributierungsgrad	
Übersichtlich: - anknüpfenan Vorwissen - deutlich und sinnvoll gegliedert (z.B. durch Sprecherwechsel oder musikalische Elemente) - linearer Aufbau & Folgerichtigkeit - Zusammenfassungen und Resümees - Schlüsselinformationen hervorgehoben (z.B. durch Soundeffekte)	**Unübersichtlich** - ohne erkennbare Gliederung - alles durcheinander - Kohärenzlücken - Wichtiges und Unwichtiges gleichgewichtig nebeneinander	
Angemessen lang: - Länge des Textes in einem angemessenen Verhältnis zu seinem Inhalt - Redundanzen	**Zu weitschweifig:** - große Ausführlichkeit - Nebensächliches - zahlreiche deskriptive Elemente - Textredundanz	**Zu kurz:** - knappe Ausführungen - auf das Wesentliche beschränkt - wenig deskriptive Elemente - wenig Textredundanz
Anschaulich: - Ermöglichen eines einheitlichen Vorstellungsbildes - Beispiele aus dem Erfahrungsbereich der Rezipient:innen - anschauliche Darstellung - Ergänzung durch visuelle Informationen - rhetorische Fragen, die zum Mitdenken auffordern - direktes Ansprechen der Rezipient:innen	**Nicht anschaulich:** - zahlreicher Einzeleindrücke werden ohne Zusammenhang dargeboten - keine Berücksichtigung des Erfahrungsbereich der Rezipient:innen - zu abstrakte Darstellungen - Inhalte werden nicht veranschaulicht bzw. eigene Veranschaulichung nicht angeregt	

Zusätzlich zu diesen Merkmalen auf Textebene wurden in diesem Kapitel auch technische und gestalterische Merkmale wie Soundeffekte und Storytelling in den Blick genommen. Diese Kriterien bieten eine fundierte Entscheidungsgrundlage bei der Analyse und Auswahl auditiver Medien für den Unterricht. Dies beantwortet die Forschungsfrage *FI.1 Was sind Kriterien schülergerechter auditiver Medien?* Offen bleibt jedoch bis dato die Frage, welche didaktischen Aspekte beim Einsatz auditiver Medien zu beachten sind. Dies führt uns zur Forschungsfrage *F1.2 Wie kann ein gewinnbringender Einsatz aussehen?* Im Folgenden soll sie beantwortet werden.

3.4.2 Hördidaktische Ansätze für einen gewinnbringenden Einsatz

In Anlehnung an die zu erwartenden Kompetenzen beim Zuhören (Bernius, 2004) kann für das Lernen mit auditiven Lernmaterialien die Ausbildung der gleichen Kompetenzen erwartet werden (insb. das Lernen neuer Formulierungen, bessere Ausdrucksmöglichkeiten, Erweiterung von Wortschatz und Sprachgedächtnis, Bilden von inneren Bildern und Vorstellungen). Die Zuhörkompetenz allgemein wird natürlich ebenso gefördert und gefordert. Um die positiven Effekte zu erreichen, muss diese Art des aktiv verarbeitenden Zuhörens jedoch didaktisch angeleitet werden. Dazu müssen neben den bereits beschriebenen Besonderheiten auditiver Medien auch die Voraussetzungen der Schüler:innen, die Rolle der Lehrkraft sowie gewinnbringende fachdidaktische Einsatzmöglichkeiten und Lernsettings in den Blick genommen werden. Es braucht also didaktische Hinweise und Ansätze einer „Zuhördidaktik“ (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 60). Aus diesem Grund soll an dieser Stelle herausgearbeitet werden, welche Bedingungen notwendig sind für gute Wahrnehmung im Unterricht.

Zunächst kann festgehalten werden, dass die Ziele und Ansätze einer Hördidaktik durch drei didaktisch-methodische Zugänge verfolgt werden können: der analytisch-intermediale, der handelnd-produktive und der ästhetische (Frederking et al., 2012, S. 139ff.). Der erste Ansatzpunkt nimmt eine Analyse der medialen Besonderheiten und der medienspezifischen sprachlichen und literarischen Angebote vor sowie intermediale Vergleiche beispielsweise zwischen Hörtexten und ihrer printmedialen Grundlage. Der zweite Ansatz nimmt die produktive Verarbeitung von Hörtexten in den Blick, für die beispielsweise die Rezeption des Hörtextes in kürzeren Abständen unterbrochen werden kann, um den Schüler:innen „Raum zu produktiv-kreativen Anschlusshandlungen zu geben – durch das Malen eines Bildes, das Schreiben einer Fortsetzung oder das Nachspielen bzw. antizipierende Weiterspielen der

gehörten Szene“ (Frederking et al., 2012, S. 145). Solch produktive Ansätze sollen in dieser Arbeit auch für den Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht entwickelt werden. Der letzte Ansatz beschreibt den Zugang zum Hören als ästhetisches Phänomen sowie die Wahrnehmungsschulung. Diese Einteilung ist noch sehr allgemein und geht nicht von methodisch-didaktischen Konzeptionen aus, die spezifisch für auditive Medien ausgelegt sind. Es finden sich in der aktuellen literatur- und mediendidaktischen Diskussion jedoch auch konkrete Ansätze einer Hördidaktik. Jutta Wermke (2010) fordert eine Hörerziehung bzw. Hördidaktik und versteht darunter „die systematische Entfaltung von Wahrnehmungs- und Vorstellungsvermögen in der akustischen Dimension und die Entwicklung der Fähigkeit, Höreindrücke differenziert zu verbalisieren“ (S. 182). Ausgehend von Merkmalen des Hörens leitet sie allgemeine Grundsätze einer nicht fachlich gebundenen Hörerziehung ab. Einige dieser Grundsätze zielen eher auf das Ausbilden einer Hörästhetik ab. Für den mathematisch-fachsprachlichen Bereich sind insbesondere die folgenden beiden Grundsätze von Bedeutung (Wermke, 2010, S. 186):

- Höreindrücke müssen artikuliert werden, damit sie verglichen und reflektiert werden können.
- Höreindrücke müssen differenziert verbalisiert werden, da durch das Suchen nach treffenden Sprachbildern auch der (fachsprachliche) Wortschatz differenziert wird.

Auf diese Weise können auditive Medien als „Mittel der Schreib-, Lese- und Sprecherziehung“ (Wermke, 2010, S. 189) dienen und somit vor allem mit den Zielen des Deutschunterrichts verbunden werden. Doch auch in fächerübergreifenden Zusammenhängen und Lernbereichen sieht die Autorin Potenziale der Hörerziehung und gibt beispielhafte Vorschläge zu Themen wie Medienerziehung, Umwelterziehung und politischer Bildung (Wermke, 2010, S. 194ff.). Zusätzlich zu diesen sprachbezogenen Aspekten benennt Wermke als grundlegenden hördidaktischen Ansatzpunkt – und gleichzeitig als Ziel der Arbeit mit diesem Medium – die Verschränkung von Wahrnehmung und Vorstellung: „Hören als aktive, selektiv, sinnstiftende Wahrnehmungsleistung setzt Vorstellungen voraus, die ihrerseits auch von auditiven Erfahrungen gespeist werden. Für eine Hörerziehung ist es daher wichtig, neben der genauen Beobachtung die Imagination zu fördern“ (Wermke, 2010, S. 185). Hier spiegelt sich die bereits beschriebene bedeutsame Rolle der Entwicklung mentaler Modelle wider. Wie diese durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden kann, wird in Kapitel 3.5.3 genauer dargestellt.

Konkrete Vorschläge zum Einsatz auditiver Medien

Neben den eben beschriebenen Ansätzen einer Hördidaktik gibt die aktuelle literatur- und mediendidaktische Diskussion auch konkrete Vorschläge zum Einsatz von Hörmedien bzw. Hörtexten im Unterricht. In diesem Zusammenhang betont Müller (2012) die Relevanz einer hörspielspezifischen Schwerpunktsetzung: "Das, was das Hörspiel von einer Buchlektüre signifikant unterscheidet, sollte […] immer in der ein oder anderen Form thematisiert werden" (S. 103). Die unterschiedliche Art und Weise der Informationsdarstellung und auch der Informationsverarbeitung kann und soll also auch transparent mit den Schüler:innen besprochen werden, damit aufbauend darauf durch die Elaboration der auditiven Informationen Hörverstehen und im vorliegenden Fall auch mathematisches Verständnis erreicht werden kann.

Segmenting Principle

Ein auf diese Weise angestrebter „gezielten Medieneinsatz kann das Kind mit wiederholten und spezifisch förderlichen Sprachdaten, durch sog. Inputspezifizierung, versorgen“ (Niebuhr-Siebert & Ritterfeld, 2012, S. 12). Inputspezifizierung erfolgt im ersten Schritt durch die sorgfältige Auswahl (oder sogar Produktion) sprachförderlicher auditiver Medien. In einem zweiten Schritt müssen die gewählten Beiträge für eine Unterrichtseinheit oder Lernumgebung strukturiert und gut eingebettet werden. Dazu kann es – wie bei allen Medien – notwendig werden, Audiobeiträge für den Unterricht zu „konfektionieren“ (Pleimfeldner & Bernius, 2013, S. 34). Ein wichtiger Aspekt, den es dabei zu beachten gilt, ist das Segmenting Principle: komplexe oder lange Darbietungen müssen in einzelne Segmente aufgeteilt werden und nacheinander abgerufen werden, um den Lernenden nicht zu überfordern (Mayer & Pilegard, 2014). Die Autoren merken an, dass, obwohl als durchschnittliche Dauer der Konzentrationsfähigkeit für Grundschulkinder 15-20 Minuten angeführt werden, diese Dauer nicht für jede Rezeptionssituation gleich sein muss. Für Spielsituationen ebenso wie fürs Fernsehen und das Hören von Hörspielen kann die Zeitspanne sehr viel länger sein (Hörspiele 30-40 min; Spiel und TV sogar stundenlang). Die Arbeitsgruppe um Ritterfeld nutzt in ihren verschiedenen Studien zur Sprachlerneffekten von Hörspielen deshalb berechtigterweise längere Episoden mit einer Länge von jeweils ca. 15 Minuten[13] (Ritterfeld et al., 2012). Ansprechend gestaltete Beiträge können also auch eine Gesamtlänge von bis zu 15-20 Minuten

[13] Die Hörspiele sind aufzufinden unter: https://www.wetterschacht-detektive.de/dwd/download.html.

aufweisen. Trotzdem sollte für den unterrichtlichen Gebrauch die vorgeschlagene Sequenzlänge aufgrund der Aufmerksamkeitsspanne der kindlichen Hörer nicht überschritten werden. Denn bei informationslastigen Medien ist die Aufmerksamkeitsspanne teilweise sehr viel geringer (natürlich abhängig von vielen Faktoren wie Informationsdichte, Schwierigkeitsgrad, individuellem Lernstand der Rezipient:innen etc.). Ähnlich zu Bergmanns (1969) Überlegungen zur Arbeit mit Fernsehbeiträgen geht es jedoch „nicht um die Frage, ob ein Zuviel an Information in den [Beitrag] hineinverpackt wurde und er deshalb überladen wirkt, sondern darum, wie er im Fall eines Einsatzes erfolgreich ausgeweitet werden kann“ (S. 99). Deshalb werden verschiedene hördidaktische Ansätze für den unterrichtlichen Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht notwendig. Dabei wird für Medien mit hoher Informationsdichte grundlegend das Abspielen sehr viel kleinerer Segmente vorgeschlagen, zwischen denen Pausen für das aktive Verarbeiten des Gehörten eingelegt werden. Mayer & Pilegard (2014, S. 320) plädieren sogar für nur 1-2 Sätze pro Sequenz. Müller (2012) betont zusätzlich, dass gerade bei Detailuntersuchungen generell mit kurzen Abschnitten gearbeitet werden soll. Das Sequenzieren ist mit einfachen Softwares zum Schneiden von Audiodateien möglich. Dabei können die geschnittenen Sequenzen auch je nach Bedarf neu zusammengestellt werden (Pleimfeldner & Bernius, 2013). Aber auch ohne das Schneiden in einer Software ist Sequnzierung durch das einfache Wiedergeben, Pausieren und Vorspulen einer Audiodatei möglich.

Da die Radiobeiträge des Kinderfunkkollegs unterhaltsame und informative Elemente verbinden, haben sich hier in den Pilotierungen Segmente mit einer Länge von 1-2 Minuten als sinnvoll erwiesen – je nach Informationsdichte, Voraussetzungen der Lerngruppe oder der von Mayer und Pilegard (2014) genannten Möglichkeit zur Selbstregulation. An dieser Stelle liegt es also an der Lehrkraft, das auditive Medium vor dem Gebrauch auf Grundlage dieser Erkenntnisse zu analysieren und in sinnvolle Segmente zu teilen. Das Segmenting Principle wurde auch bei beiden in dieser Studie untersuchten Einheiten beachtet. In Anhang A6 sind die verwendeten Audio-Sequenzen überblicksartig dargestellt.

Zuhörklima und Zuhörhaltung

Grundlegend für einen gewinnbringenden Einsatz auditiver Medien bzw. der gewählten auditiven Sequenzen ist weiterhin das Schaffen eines Zuhörklimas (Pabst-Weinschenk, 2011) sowie einer Zuhörhaltung – angelehnt an die Lesehaltung zum Verstehen mathematischer Texte (Maier & Schweiger, 1999). Ein angenehmes Zuhörklima wird ermöglicht durch eine ruhige Atmosphäre und das Reduzieren von Ablenkungen. Werden die auditiven Medien mit

Kopfhörern rezipiert (in Partnerarbeit mithilfe eines Y-Steckers) so werden nicht nur aus den distalen Reizen proximale Reize, die in der Wahrnehmung verarbeitet werden können. Es wird gleichzeitig auch die äußere Hörwelt abgeschottet und der Empfang aller anderer akustischer Signale unterbunden (Jörg, 2000). Weiterhin förderlich für ein gutes Zuhörklima sind eine konzentrierte Sitzhaltung (denn muskuläre Anspannung und Aufmerksamkeit hängen zusammen) und durch Eigentätigkeiten wie stichwortartiges Mitschreiben, Rekonstruktion der Gliederung etc. (Pabst-Weinschenk, 2011). Diese Eigentätigkeiten werden nachfolgend als Höraufträge beschrieben.

Maier und Schweiger (1999, S. 140f.) betonen, dass der Aufbau einer bestimmten Zuhörhaltung als Voraussetzung für sinnentnehmendes Hören gesehen werden kann und damit als Voraussetzung für das Verstehen auditiver Medien bzw. bezogen auf die vorliegende Arbeit das Verstehen mathematischer Hörtexte. Unabhängig davon, welche Art von Aktivitäten oder Höraufträgen gewählt wird, ist es also wichtig, diese bereits vor dem Rezipieren der Hörtexte anzukündigen, damit die kognitive Aktivierung, das Lenken der Aufmerksamkeit sowie das aktiv verarbeitende Zuhören und damit eine förderliche Zuhörhaltung angeregt werden kann. Weiterhin empfehlen die Mathematikdidaktiker die Bedeutung der aktiven Verarbeitung des Gehörten:

> Soll aber die Sprachwahrnehmung zu einem Sprachverstehen werden, muss sie sich mit intensivem geistigen Handeln verbinden, in dem das Wahrgenommene verarbeitet und zum Impuls für die Konstruktion eigenen Wissens werden kann. Dieses Handeln lässt sich anregen bzw. intensivieren, wenn sprachliche oder andersartige Aktivitäten die Wahrnehmung begleiten oder ihr folgen, die dem Schüler selbst wie dem Lehrer unmittelbar die Möglichkeit geben zu prüfen, wie er die Worte aufgefasst hat und wie weit seine Auffassung mit der erwarteten bzw. gewünschten übereinstimmt. (Maier & Schweiger, 1999, S. 140)

Es braucht also Aktivitäten, die die Schüler:innen dazu anregen, das Gehörte in Beziehungen zum bisherigen Wissen zu setzen, zu bewerten, sein Verständnis zu überprüfen und Schlussfolgerungen zu kontrollieren, um auf diese Weise eigenes Wissen zu konstruieren (Schnotz, 2005). Im Sinne des Modalitätenwechsels (Motsch, 2017) müssen dabei Phasen der Rezeption, der Reflexion und der Produktion im Wechsel geschehen, um Verständnis und Erarbeitung zu ermöglichen.

Didaktisch-methodische Hinweise zum Einsatz auditiver Medien

Solche Aktivitäten können auf unterschiedlichste Weise in den Unterricht eingebettet werden und somit unterschiedliche Ziele verfolgen. Pleimfeldner und Bernius (2013, S.35) nennen

verschiedene didaktisch-methodische Möglichkeiten, mit auditiven Medien umzugehen, die an dieser Stelle leicht angepasst wiedergegeben werden sollen:

- als Impuls zur Einführung einer Thematik: Was löst der Inhalt aus? Wie könnte es weitergehen?
- zur Wissensvermittlung: Dies ist bei beiden hier untersuchten Lernumgebungen der Fall. Hier können Inhalte auch gruppendifferenziert erarbeitet werden.
- als Weiterführung oder Ergänzung von bereits Bekanntem oder Überhörtem.
- als Provokation: Diskussion, Widerspruch oder problemhaltige Situation. Zu diesem Zweck wird der Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* genutzt (Kap. 5.1.7)
- als Zusammenfassung des bisher Erarbeiteten
- zur Wiederholung von Wichtigem oder Absichern bei Unsicherheiten: Dieser Aspekt kann besonders gut in die selbstständige Arbeit der Schüler:innen mit dem auditivem Medium platziert werden (Analyse 07).

Unabhängig davon, welches dieser Ziele im Fokus steht, kann und soll das Hörverstehen im Sinne der Zuhörhaltung durch Aktivierung des Vorwissens unterstützt werden. Selbst bei dem (nicht so) stillen Impuls sollte also zumindest der Themenbereich oder Kontext des Beitrages genannt werden. Auf diese Weise können, wie bereits in Kap. 2.3.2 erwähnt, die relevanten Informationen besser herausgefiltert werden (Imhof, 2010). Pabst-Weinschenk (2011, S. 79) spricht in diesem Zusammenhang davon, eine Erfahrungsgrundlage zu schaffen. Grund dafür ist, dass das Vorwissen als „internal source of information“ (Schnotz, 2005, S. 56) beeinflusst, wie einfach die neuen Informationen kategorisiert, verarbeitet und gespeichert werden. Oft kann es sogar Lücken in der externen Information kompensieren (Schnotz, 2005). Wenn z.B. ein oder zwei Worte in einem Satz akustisch nicht verstanden wurde, kann durch das semantische und syntaktische Vorwissen trotzdem die Bedeutung der fehlenden Wörter und somit des Satzes rekonstruiert werden. Zur Aktivierung des Vorwissens können und sollen ggf. auch erste Fragen der Lernenden beantwortet werden.

Ermöglichen aktiv verarbeitender und selbstständiger Arbeit

Die von Maier und Schweiger (1999) geforderten Aktivitäten, welche die auditive Verarbeitung unterstützen, können je nach Lerngruppe in Einzel- oder Partnerarbeit bearbeitet werden. Dabei können die Gruppen entweder alle den gleichen Auftrag erhalten oder gruppendifferenziert mit verschiedenen Aufgaben an den Hörtext herangehen. So können die einzelnen Gruppen, ähnlich wie Bergmann (1969) es für die Arbeit mit Fernsehbeiträgen vorschlägt, „bestimmte

Teilgebiete besonders berücksichtigen, ohne den Gesamtzusammenhang aus dem Auge zu verlieren“ (S. 99). Die Besprechung der Ergebnisse bietet sich im Plenum an. Wichtig bei der Gestaltung der Höraufträge ist, dass es immer auch die Möglichkeit gibt, eigene Ergebnisse selbstständig zu dokumentieren, um der Flüchtigkeit auditiver Darstellungen entgegenzuwirken (Leuders, 2012, S. 216). Dies kann über individuelle Schmierzettel für freie Notizen bei der Rezeption gelöst werden sowie über vorstrukturierte Arbeitsblätter, die bestimmte Fragestellungen oder Foki vorgeben.

Dabei spielt auch der Grad der Selbstständigkeit eine Rolle. Durch die Möglichkeit der Eigenkontrolle beim Abspielen des auditiven Mediums und damit der Möglichkeit zum Vorgeben des individuellen Tempos, kann das Hörverständnis massiv unterstützt werden (Schnotz, 2005). Aufgrund der bereits beschriebenen Flüchtigkeit gesprochener Sprache, erlaubt diese weniger Kontrolle über kognitive Verarbeitungsprozesse als geschriebene Sprache, bei der einfach im Text zurückgesprungen und schwierige Passagen wiederholt gelesen werden können. Schnotz (2005) betont, dass die Kontrolle über kognitive Verarbeitungsprozesse besonders wichtig ist bei schwierigen (Hör-)Texten. Auch Rötting et al. (2021) stellten in einer Studie zur Förderung der Leseflüssigkeit mithilfe von Hörbuch mit und ohne Anpassung der Sprechergeschwindigkeit fest, dass die Abspielgeschwindigkeit ein entscheidendes Rädchen ist – sowohl für das Hörverständnis als auch im nächsten Schritt für Lesekompetenzen. In den Pilotierungen zeigte sich, dass die auditiven Medien im besten Fall mit einer Software (bspw. der Quick-Time-Player), die das Einstellen einer individuellen Geschwindigkeit erlaubt, abgespielt werden können (Kap. 6.3.4). Auf diese Weise können die Schüler:innen in Einzel- oder Partnerarbeitsphasen selbstständig die Sprechergeschwindigkeit an ihr individuelles Lerntempo bzw. ihre Verarbeitungsgeschwindigkeit anpassen. Auch durch das selbstständige Stoppen und Wiederholen wichtiger Sequenzen können die Verarbeitungsprozesse unterstützt und der Flüchtigkeit von Sprache entgegengewirkt werden (Müller, 2012). Durch den selbstständigen Gebrauch in Partner- oder Gruppenarbeitsphasen können die auditiv vermittelten Inhalte außerdem dezentral verfügbar gemacht werden (Peters, 2021). Auch für Hausaufgaben oder im Distanzunterrricht (Teile der Datenerhebung während der Pandemie durchgeführt) konnte dieser Aspekt vorteilhaft genutzt werden.

Gestuftes Vorgehen

Ausgehend von diesen Erkenntnissen sowie angelehnt an die Ausführungen von Leisen (2013, S. 136f.) zur Unterstützung des Leseverstehens kann also ein gestuftes Vorgehen für die Arbeit mit auditiven Medien vorgeschlagen werden:

- *Vorwissensaktivierung*: Einführung oder Vorabinformation
- *Erstrezeption*: Überblick über den Inhalt des Beitrages; Vorbereitung auf die nachfolgenden Aufgaben
- *Wirkungsgespräch*: erste Verständnisüberprüfung, auf die hin das weitere Vorgehen abgestimmt werden kann
- *Detailrezeption*: Elaborieren der Inhalte mithilfe eines Hörauftrages (Kap. 3.5)
- *Verständnisüberprüfung*: Klärung offener Fragen, bestenfalls im gemeinsamen Austausch durch Mitschüler:innen
- *Anschlusskommunikation*: Reflexion; Transferaufgaben, durch welche die Inhalte in weitere Kontexte gesetzt werden

Nachfolgend sollen konkrete Aktivitäten bzw. Hörafträge dargestellt werden, die sich vor allem für die Unterstützung der Detailrezeption, aber auch für das Wirkungsgespräch und die Anschlusskommunikation eignen. Gleichzeitig wird ihre Verwendung in den in dieser Arbeit untersuchten Lernumgebungen offengelegt.

3.5 Hörafträge

Neben dem, was das auditive Medium durch seine Beschaffenheit für die Aufmerksamkeit und Konzentration bewirken kann (äußere Bedingungen), können auch durch den Einsatz kognitiver Strategien sowie reduktiver und elaborativer Techniken zur Strukturierung und Verarbeitung der Informationen konzentriertes Verhalten angeregt werden (Imhof, 2003, S. 61ff.). Solche kognitiven Strategien sind beispielsweise Verständnisüberprüfung, das Stellen von Fragen, das Verknüpfen von Vorwissen, das Filtern von relevanten Informationen etc. Auch schriftliche Aufgaben zum Gehörten wie das Anfertigen von Notizen oder weiterführende Aufgaben können die Interaktion mit dem auditiven Input unterstützen (Padberg-Schmidt, 2020, S. 43). Je tiefer man die Bedeutung elaboriert, in andere Zusammenhänge einbettet, vernetzt etc., desto besser wird man sie verstehen, speichern und wiedergeben bzw. abrufen können und desto besser wird ergo auch die Gedächtnisleistung (Craik & Tulvig, 1975). Es besteht also eine enge Verbindung zwischen den Verstehensprozessen durch Elaboration und der Gedächtnisleistung bzw. dem Lernerfolg. Im Hinblick auf auditive Medien können durch elaborative Strategien nicht nur das Zuhören und die Aufmerksamkeitssteuerung, sondern auch der Verstehens- und Behaltensprozess verbessert werden (Imhof, 2001). Denn die erwähnte Flüchtigkeit gesprochener Sprache erfordert nicht nur eine Informationsverarbeitung in Echtzeit, sondern auch ein serielles Verfolgen des Gehörten: Dabei muss bereits Verklungenes zu gerade Gehörtem in Beziehung gesetzt und der Gesamtkontext erfasst werden, ohne dass ein

Blick auf das noch Kommende einen rahmenden Überblick geben kann (Hagen, 2006, S. 47). Für diese Leistungen muss sowohl Zeit als auch didaktische Anregung gegeben sein, damit die gedankliche Ver- und Ausarbeitung des Gehörten sowie die Vernetzung des Inhaltes mit anderen Inhalten bzw. Vorwissen vollzogen werden kann. Im Hinblick auf Sprachförderung werden elaborative Strategien als „Texterschließungshilfen" bezeichnet (Berg et al., 2018, S. 10). Angelehnt an diesen Begriff können sie im Zusammenhang mit auditiven Medien als Hörtexerschließungshilfen dienen. Dabei ist es wichtig, diese Hilfen nicht zu allgemein, sondern möglichst explizit zu gestalten und zu formulieren:

> Commands such as "to listen carefully" are useful to older students because they have the skills to interpret them. Younger students may need more explicit directions about what they are expected to do, especially when the activity that they are working on is made up of several components. (Meaney et al., 2012)

Aufmerksames, aktives und sinnentnehmendes Zuhören braucht also Anlass und Richtung, welche durch kognitive Aktivitäten angeregt werden können. Diese kognitive Aktivitäten müssen so gewählt oder entwickelt sein, dass sie die Rezipient:innen dazu bewegen, mit dem Hörtext aktiv umzugehen. Nur so kann die Verankerung der monomodal präsentierten Information in das Langzeitgedächtnis ermöglicht werden (Imhof, 2013, S. 97).
Aufbauend auf diesen Erkenntnissen schlagen Maier und Schweiger (1999, S. 140-142) Aktivitäten vor, die in verschiedener Weise auf die Sprachwahrnehmung bezogen sind:

- *Das Anfertigen von Notizen während der Rezeption:* Auf Grundlage dieser Notizen kann dann der Inhalt des Gehörten schriftlich oder mündlich reproduziert werden. Diese Reproduktion lässt jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf das Hörverstehen zu.
- *Das Reproduzieren des Gehörten mit eigenen Worten ggf. mithilfe von selbst produzierten Visualisierungen oder Modellhandlungen:* Diese ermöglichen Rückschlüsse auf mentale Modelle und damit auf das Hörverstehen.

  > Es handelt sich dann um eine Art Paraphrase der ursprünglichen Darstellung, wobei die Abfolge der Gedanken in sinnvoller Weise modifiziert oder der Text neu gegliedert und durch Hervorhebungen strukturiert sein darf. Gelingt einem Schüler eine solche vollständige oder doch das Wichtigste enthaltende Rekonstruktion, kann man zunächst annehmen, dass er das sprachlich Wahrgenommene geistig verarbeitet, verstanden hat. (Maier & Schweiger, 1999, S. 140)

Zeigen die Visualisierungen der Schüler:innen Verständnisfehler oder Fehlvorstellungen auf, lassen sich diese anschaulich besprechen und korrigieren. Maier und Schweiger nutzen in ihrer Abhandlung sowohl den Begriff der ‚Reproduktion' als auch der ‚Rekonstruktion'. Da selbst

der Auftrag ‚Gib in eigenen Worten wieder, was gesagt wurde' schon die individuellen Modifikationen der Schüler:innen inkludiert, die zu einer (eine reine Reproduktion überschreitende) Rekonstruktion des Gehörten führen, soll nachfolgend im Zusammenhang mit Höraufträgen der Begriff ‚Reproduktion' genutzt werden.

- *Transferaufgaben verschiedener Art:*
    - Modaler Transfer: Etwas verbal Dargebotenes soll zeichnerisch oder im konkreten Modell dargestellt werden
    - Kopfgeometrische Aufgaben: Mittels räumlichen Denkens und Vorstellens oder ‚Operieren im Kopf' soll zu Lösungen gekommen werden (Kap. 5.2.5).
    - Sachbezogener Transfer: Ein demonstrierter Beweis zu xy soll für die Formulierung eines ähnlichen oder verwandten Beweises genutzt werden.
- *Problemlösen*: Es soll eine mathematische Aufgabe oder ein mathematisches Problem gelöst werden, zu dessen Bearbeitung das (durch das auditive Medium vermittelte) neu erlernte Wissen unverzichtbar ist.

> Die Beispiele machen wohl deutlich, dass der Zusammenhang zwischen dem Inhalt der Sprachwahrnehmung und der nachfolgenden Aktivität beim Problemlösen eher lockerer sein kann als im Fall der Rekonstruktion und des Transfers. Daher kann die Kontrollfunktion der Aktivität für den Lehrer wie für die Schüler selbst eher schwächer ausgeprägt sein. Vielleicht eignet sich die Problemlösung besser für eine spätere Phase, wenn über Rekonstruktion und Transfer das Sprachverstehen bereits überprüft und nötigenfalls korrigiert ist. (Maier & Schweiger, 1999, S. 142)

Aus diesem Grund sollen in den Lernumgebungen der vorliegenden Studie vor allem das Problemlösen eher ausgeklammert werden. Fokus liegt auf den Aktivitäten der Reproduktion und Visualisierung sowie auf den Transferaufgaben, wobei das Anfertigen von Notizen teilweise als hinführende und/oder unterstützende Aktivität eingesetzt wird. Auf diese Weise soll das Hörverstehen der Schüler:innen untersucht werden.

Aufgrund der Erfahrungen in den Seminaren zur Entwicklung von Lernumgebungen zum Kinderfunkkolleg Mathematik sowie auf Grundlage der Erfahrungen in den ersten Pilotierungen soll in dieser Arbeit zusätzlich eine Einteilung der Aktivitäten in direkte und indirekte Höraufträge vorgenommen werden. Die ersten beiden von Maier und Schweiger (1999) genannten Aktivitäten können als direkte Höraufträge bezeichnet werden, da sie durch die direkte Arbeit am Hörtext gelöst werden können. Die anderen beiden Aktivitäten können als indirekte Höraufträge bezeichnet werden. Dies spielt eine Rolle bei der Analyse der Interaktionen von Schüler:innen auf ihr Hörverstehen hin. Denn es macht einen Unterschied,

ob direkt und mit wenig zeitlicher Distanz am Hörtext gearbeitet wird – oder ob bei einem indirekten Hörauftrag, bei dem die Antwort oder Lösung nicht einfach so aus dem Hörtext reproduziert werden kann, sondern indirekt und mit größerer zeitlicher Distanz durch Schlussfolgerungen und Transferleistung erarbeitet werden muss (in den hier untersuchten Unterrichtseinheiten sogar mit größerer zeitlicher Distanz zwischen Rezeption und Aktivität).

Eine der Gelingensbedingungen für den Einsatz auditiver Medien im Unterricht ist also die Gestaltung von guten Höraufträgen, die das Zuhören steuern und eine Ergebnissicherung ermöglichen. Wie solche Höraufträge und die sie umgebenden (multimodalen) Lernumgebungen gestaltet sein müssen, soll in den folgenden Unterkapiteln entwickelt werden, damit daraufhin auch die Lerneffekte dieser fachdidaktischen Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt werden können.

3.5.1 Rekonstruieren des Gehörten durch „self-explanation“

Auditive Medien können Wissen in Form von auditiven Informationen überbringen. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass sie von sich aus per se zum Lernen führen. Das Generieren individueller Wissenstrukturen entsteht oft durch Kommunikation und Zusammenarbeit, da auch der soziale Austausch mit anderen eine aktive Auseinandersetzung bedeutet. So schlagen Maier und Schweiger (1999) vor, die Rekonstruktion von Gehörtem in Kleingruppengesprächen erfolgen zu lassen, da auf diese Weise alle Gruppenteilnehmer:innen eine Zusammenfassung ihres Hörverstehens mit eigenen Worten und für die anderen verständlich formulieren müssen. Dabei kann als unterstützende Hörstrategie der Auftrag gegeben werden, Schlüsselwörter zu suchen, die das Zusammenfassen des Gehörten sowie das Herausselektieren wichtiger Informationen erleichtern können (Leisen, 2013, S. 142). Die Schlüsselwörter können dann wiederum genutzt werden, um gemeinsam Infonetze anzulegen, die zur vereinfachten oder strukturierten Darstellung komplexer Sachaufgaben dienen (Berg et al., 2018) sowie eine sprachsensible Wortspeicherarbeit anregen (Götze, 2015). Der Wortspeicher stellt damit eine Erinnerungshilfe an die Rekonstruktion des Gehörten dar und wird in beiden der hier untersuchten Lernumgebungen in diesem Sinne verwendet.

Durch die Tatsache, dass sich bei der Rekonstruktion von Gehörtem in Kleingruppengesprächen jede/r beteiligen soll, kann der häufig beobachteten Neigung von Schüler:innen zu wörtlicher Wiederholung des Textes entgegengewirkt werden, mit der oft fehlendes Verstehen kaschiert werden soll (Maier & Schweiger, 1999, S. 142). Wylie und Chi (2014) definieren das Erklären in eigenen Worten („self-explanation“) folgendermaßen: „Self-explanation is a constructive or generative learning activity that facilitates deep and robust

learning by encouraging students to make inferences using the learning materials, identify previously held misconceptions, and repair mental models“ (S. 413). Durch self-explanation werden Lernende also angeregt, eigene Schlussfolgerungen aus dem Gehörten zu ziehen und mit ihrem Vorwissen bzw. bestehenden mentalen Modellen zu verknüpfen. Beim Versprachlichen des Verstandenen und der Schlussfolgerungen können Diskrepanzen erkannt und die mentalen Modelle daraufhin angepasst werden. Auch Verständnislücken können auf diese Weise sichtbar gemacht werden.

Neben dem Anpassen und Verknüpfen bestehender mentaler Modelle können auch mentale Modelle zu unbekannten Themen ganz neu entwickelt werden. Studien zeigen, dass diese Prozesse durch self-explanation erfolgreicher verlaufen, als wenn ein Text zweimal rezipiert wird: “The results showed that students who were prompted to selfexplain performed better on both near and far transfer tasks than students who were not prompted to self-explain” (Wylie & Chi, 2014, S. 421). Dadurch dass die Ergebnisse auch für far transfer tasks bestätigt werden konnten, lässt sich festhalten, dass durch self-explanation langfristiges deklaratives Wissen generiert werden kann (Wylie & Chi, 2014).

Ein weiterer lernförderlicher Aspekt der Rekonstruktion des Gehörten ist die Tatsache, dass durch das Wiedergeben von Schlüsselwörtern und -phrasen das auditive Medium als Scaffolding (Gibbons, 2002; ausführlicher in Kap. 4.4.4) genutzt werden kann – also als bildungssprachliches Vorbild, an dem die Schüler:innen sich orientieren können. Dies wiederum ist zum einen als sprachliche Übung, gleichzeitig aber auch als Unterstützung durch das Medium vorgegeben. Aufgabe der Lehrkraft ist es dann, sprachliches und inhaltliches Feedback zu den Sprechproduktionsleistungen und Rekonstruktionen der Schüler:innen zu geben (Pabst-Weinschenk, 2011).

3.5.2 Focused and scaffolded prompts: Hören mit bestimmter Fragestellung

Beispiele für Differenzierungs- und Unterstützungsmöglichkeiten bei der Rekonstruktion des Gehörten sind neben dem schon genannten Finden von Schlüsselwörtern beispielsweise der Arbeit mit Lückentexten oder Wort- bzw. Beweispuzzlen (Leisen, 2013). Diese stellen besondere Arten der self-explanation dar. Wylie und Chi (2014) nennen neben dem offenen Nacherzählen und dem geschlossenen Abfragen von Einzelinformationen „a number of ways of prompting students to self-explain that fall in the middle: focused, scaffolded, and resource-based prompts“ (S. 422). Sie betonen, dass durch diese spezifischeren Arten des Erklärens erwiesenermaßen tiefergehendes Lernen und Verstehen erreicht werden kann. Das Suchen von Schlüsselbegriffen kann dementsprechend als focused prompt bezeichnet werden:

> Focused prompts are similar to open-ended prompts in that they are generative and do not restrict the student's reply, but focused prompts provide more explicit instruction regarding what the content of the self-explanation should include. (Wylie & Chi, 2014, S. 423)

Es sind weiterhin offene Antworten möglich, der Lernende wird jedoch richtungsweisend unterstützt. Lückentexte oder Wort- bzw. Beweispuzzle stellen scaffolded prompts dar, da sie die Rekonstruktion des Gehörten sprachlich (Puzzle) bzw. sprachlich und strukturell (Lückentext) unterstützen. Auch das Ordnen von Abschnittsüberschriften kann hier in Anlehnung an Strategien zur Förderung des Leseverstehens (Leisen, 2013) genannt werden.

Scaffolded oder assisted self-explanation stellt damit eine noch fokussiertere Herangehenweise dar. „This approach is hypothesized to be especially beneficial for novice learners who might lack suficient prior knowledge to generate open-ended self-explanations on their own" (Wylie & Chi, 2014, S. 422). Als Beispiel kann hier eine Studie zum Umgang mit Heterogenität unter Verwendung von (digitalen) Medien im Mathematikunterricht (Szücs, 2016) angeführt werden, in der sowohl der Lückentext als auch Beweispuzzle-Aufgaben zur Rekonstruktion eines im Video thematisierten Beweises genutzt wurden. Differenzierend erhielten hier leistungsschwächere Lernende einen Beweis mit Lücken und die fehlenden Behauptungen als Hilfekärtchen. Leistungsstärkere hingegen erhielten nur Anfangs- und Endaussage des Beweises ohne weitere Hilfe. Eine weitere Aufgabe war das Sortieren vorgegebener Argumente der im Video geführten Diskussion in die richtige Reihenfolge. Analog dazu können solche Aufgaben auch zu auditiv vermittelten Beweisen oder Inhalten entwickelt und durchgeführt werden.

Eine weitere Möglichkeit, die self-explanation zu fokussieren, ist das Stellen spezifischer Fragen zum Hörtext, die ggf. nach wiederholter Wiedergabe beantwortet und im Text belegt werden sollen.

> Fragen haben die Funktion einer Grundoperation beim Hörverstehen und Sprechdenken. Sie fokussieren die Aufmerksamkeit beim Zuhören und leiten das Verständnis: Wer eine Frage hat, hört zielgerichtet zu und sucht eine Antwort. Andere Informationen, die nicht zu den Leitfragen passen, werden in der Regel ausselektiert und nicht weiter berücksichtigt. (Pabst-Weinschenk 2011, S. 79f.)

Die Schüler:innen können auch – angelehnt an die Lesestrategien von Leisen (2013) – aufgefordert werden, eigene Fragen an den Beitrag zu stellen, die sie sich dann selbst oder gegenseitig beantworten sollen. Auch kritische Fragen an den Hörtext sind möglich. Nach dem Abspielen der ersten Sequenz der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* wird nach dem Vorstellen eines vermeintlich fairen Zufallsexperimentes die Frage gestellt: ‚Stimmt das? Ist

das Spiel wirklich fair?‘. An dieser Stelle sind die Schüler:innen aufgefordert, Vermutungen aufzustellen und zu begründen, bevor der Hörtext dies tut (Kap. 5.1.7). Sie entwickeln außerdem eine produktive Zuhörhaltung, mit der sie diese Frage im weiteren Verlauf durch selektives Zuhören klären können.

Auch das Erstellen einer gedanklichen Gliederung führt – ähnlich dem Suchen nach Schlüsselwörtern – dazu, dass Wesentliches herausselektiert wird und auf diese Weise die Struktur des auditiven Textes erfasst werden kann. Ebenso können die Rezipient:innen aufgefordert werden, weitere Beispiele oder Gegenbeispiele zu einem auditiv vermittelten Begriff zu finden, Anwendungsmöglichkeiten durchzuspielen oder das Gehörte auf Korrektheit und Plausibilität zu prüfen (Imhof, 2004).

Open-ended prompts wie das offene Wiedergeben des Gehörten findet meistens mündlich statt, um ausführliche Antworten zu ermöglichen. Viele der focused oder scaffolded prompts können hingegen als schriftliche Aufgabe gestellt werden wie beispielsweise die eben beschriebene Rekonstruktion eines Beweises. Als weiteres Beispiel soll hier das Erstellen eines Steckbriefes genannt werden. Leisen (2013) beschreibt, dass für diesen Auftrag Informationen gesucht und gefiltert werden müssen, weshalb er sich als Strategie zur Förderung des Leseverstehens eignet. Analog dazu kann diese Strategie auch zur Unterstützung des Hörverstehens genutzt werden (Peters & Schreiber, 2018). Auch in einer der hier zu untersuchenden Unterrichtseinheiten wurde diese Art des focused prompts als Hörstrategie verwendet (Kap. 5.2.7). Über einen auszufüllenden Steckbrief (Anhang A4) wurde dort nicht nur das schriftliche Festhalten der besonderen Eigenschaften eines Viereckes verlangt, sondern auch das Zeichnen desgleichen. Mit diesem Schritt kommt es zu einer Visualisierung eines (auditiv vermittelten) mentalen Modells (Kap. 2.2.1).

3.5.3 Visualisierung mentaler Vorstellungen des Gehörten

Wie bereits beschrieben, benennt Wermke (2010) als eines der Ziele der Arbeit mit auditiven Medien die Verschränkung von Wahrnehmung und Vorstellung. Was auditiv wahrgenommen wird, kann durch Elaboration im Arbeitsgedächtnis zu bildhaften Modellen entwickelt und somit Wissen vertieft werden (Kap. 2.1). „[The listeners] build referential connections between the verbal and pictorial models, and build a coherent mental model, which serves as the foundation for their external drawings“ (Leutner & Schmeck, 2014, S. 434)“ Dieser Übersetzungsprozess kann automatisch geschehen oder durch externe Elaborationsstrategien angeregt werden. Beispielsweise kann dazu aufgefordert werden, das Gehörte in eine andere Darstellungsform zu übertragen und die neuen Informationen in einem Schaubild einer Skizze

o.ä. zu veranschaulichen (Leisen, 2013; Imhof, 2013). Auf diese Weise können außerdem die mentalen Modelle in Form von Visualisierungen bzw. externalen Bildern sichtbar gemacht werden und so eine Grundlage für Kommunikation, Vergleiche und informelle Verständnissicherung darstellen. Zeichenaktivitäten fördern also metakognitive Prozesse: „That is, as the drawing process itself is not linear, metacognitive processes of monitoring and regulation are automatically activated by drawing" (Leutner & Schmeck, 2014, S. 434f.). Der in Abbildung 14 dargestellte Prozess wird also nicht einmal von Anfang bis Ende durchlaufen, sondern über den Vergleich der Visualisierung kann sowohl die Visualisierung selbst als auch rückwirkend das bildhafte Modell modifiziert werden.

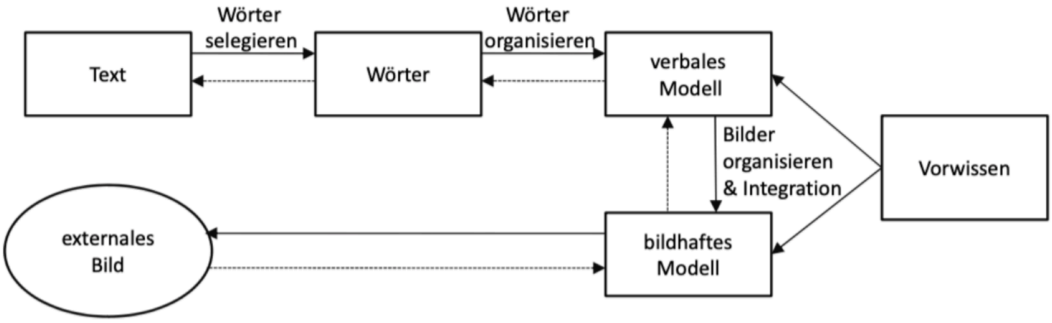


Abbildung 14: Modell der Generative Theory of Drawing Construction (entnommen aus Schmeck, 2019, S. 29)

Durch selbst generierte Visualisierungen wird also eine doppelt kodierte Repräsentation des durch den (Hör-)Text vermittelten Sachverhaltes aufgebaut, dabei gleichzeitig kognitive Verarbeitungsprozesse vertieft und die Lernwirksamkeit gesteigert. Als Begründungsansatz nennen Leutner & Schmeck (2014) hier das „Generative Drawing Principle" (S. 433) – eine Art zu zeichnen, durch welche generative processing angeregt wird: Werden Zeichnungen während der Rezeption von (Hör-)texten angefertigt, werden Verarbeitungsprozesse angeregt, durch die generative Load entsteht und demzufolge bessere Lernergebnisse erzielt werden. Wie Abbildung 14 zeigt, müssen die Rezipient:innen verbale Informationen in ein bildhaftes Modell übersetzen.

> [This] encourages them to actively engage in deep cognitive and metacognitive processing and thus fosters deep understanding of the material to be learned…. especially when students engage in hand drawing using paper and pencil. (Leutner & Schmeck, 2014, S. 433)

Gleichzeitig wird auch das genaue Zuhören trainiert (Pabst-Weinschenk, 2011) und von einer passiven Konsumentenhaltung zu einer aktiven und involvierten Haltung geführt (Leutner & Schmeck, 2014). Wichtig ist dabei, dass Zeichenaktivitäten entwickelt werden, die dem

Entstehen von ‚extraneous cognitive processing' durch angemessene Unterstützungsangebote entgegenwirken, da ansonsten mechanische Schwierigkeiten beim Zeichnen die kognitiven Ressourcen so auslasten können, dass die intendierten ‚generative cognitive processes' der Zeichenaktivität verhindert werden können (Leutner & Schmeck, 2014). Solch ein Unterstützungsangebot kann beispielsweise Kästchenpapier darstellen. Beim Zeichnen von geometrischen Figuren auf Blankopapier können schnell zeichnerische Anforderungen im Vordergrund stehen und die gesamten kognitiven Ressourcen vereinnahmen. Rechenkästchen als Untergrund können jedoch das Zeichnen gerader Linien und rechter Winkel so unterstützen, dass die Form oder Eigenschaften der gezeichneten Figur im Vordergrund bleiben können (Beispielmaterial: Peters & Schreiber, 2018). Neben vorgegebenen Hintergründen können auch Raster oder Legenden extraneous Load minimieren:

> A straightforward way to minimize the creation of extraneous processing is to instructionally support the drawing process by providing a drawing prompt, which includes a legend containing drawings of all the key elements needed and a background for the drawing, (Leutner & Schmeck, 2014, S. 435)

Differenzierend können auch zeichnerische Aktivitäten im Sinne eines focused self-explanation prompts unterstützt werden: Nach der Erstrezeption erhalten die Schüler:innen eine anschauliche Darstellung, auf der die wichtigsten Fakten stichwortartig eingetragen werden sollen, sowie Kontrollfragen (Pabst-Weinschenk, 2011). Bei der Detailrezeption kann diese Darstellung dann ausgefüllt werden. In einer Lernumgebung zur Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* beispielsweise wurde ein Arbeitsblatt mit einer Darstellung eines leeren Hauses ausgegeben mit dem Auftrag: „Höre dem Radiobeitrag genau zu. Zeichne die ebenen Figuren in ihr passendes Zimmer und schreibe ihren Namen dazu" (Peters & Schreiber, 2018). Auch in Steckbriefe können Visualisierungen als produktive Herausforderung mit aufgenommen werden (Peters & Schreiber, 2018): Neben dem Festhalten wichtiger Eigenschaften werden die Lernenden hier aufgefordert, das Viereck zu zeichnen. Auf diese Weise werden die mentalen Repräsentationen bzw. Vorstellungen der Vierecke durch Externalisierung zu sichtbaren Visualisierungen (Kap. 2.2.1). Weiterhin können unvollständige Darstellungen vorgegeben sein, die dann von den Schüler:innen ergänzt werden können. In einer Untersuchung sollten mithilfe von Audiosequenzen Steckbriefe zu verschiedenen Vierecken ausgefüllt werden, auf denen das jeweilige Viereck mit abgebildet war (Kreider & Peters, 2023). Obwohl nicht explizit gefordert war, die Abbildung zu vervollständigen, wurde bei der Analyse der Schülerdokumente deutlich, dass die meisten Lernenden die Abbildungen zum Beschriften und/oder Einzeichnen der Eigenschaften nutzten. „So konnten die Lernenden die auditiv wahrgenommenen Informationen verarbeiten und aktiv nachvollziehen, indem sie

beispielsweise Symmetrieachsen einzeichneten, oder rechte Winkel und parallele Seiten markierten“ (Kreider & Peters, 2023, S. 3). Durch dieses scaffolded prompt zur Visualisierung wurde so zum einen der kognitiv anspruchsvolle Prozess des Zuhörens unterstützt. Zum anderen konnten die entstandenen Visualisierungen sowohl als unterstützendes Gerüst für die Rekonstruktion des Gehörten genutzt werden als auch diagnostische Erkenntnisse über den Verstehensgrad liefern.

3.5.4 Enaktives (Re-)Konstruieren

Neben dem Visualisieren kann auch das Konstruieren dem Veranschaulichen des Gehörten dienen. Angelehnt an Ballstaedt (1997), der die Verknüpfung interner und externer Prozesse vorschlägt, kann durch den Einsatz auditiver Medien ein Wechselspiel von Instruktion (Information) und Konstruktion angeregt werden. In der Lernforschung wurde gezeigt, „dass solche Inhalte und Beziehungen besonders fest emotional und kognitiv verankert und gespeichert werden, die die Lernenden in eigenes Handeln umsetzen und üben können“ (Reich et al., 2005, S. 91). Durch die rezeptive Nutzung auditiver Medien, werden hier Grenzen offensichtlich, die durch die Rezeption begleitende Höraufträge erweitert werden müssen. Das Audiomaterial an sich stellt im Sinne der Instruktion die Wissens- bzw. Informationsvermittlung dar, an die durch Höraufträge Aktivitäten der (Re-)Konstruktion angehängt werden können. Hier können beispielsweise Sachsituationen nachgespielt werden, wodurch ein Situationsmodell dargestellt wird (Berg et al., 2018). Die Radiosendungen des Kinderfunkkollegs geben – teilweise ähnlich wie Schulbücher – Situationen vor, bei denen „am Beispiel anderer gelernt werden kann. Diese Beispiele geben Anregungen, Orientierung und erleichtern das Verständnis für Aufgabe und Materialhandlung“ (Berg et al., 2018, S. 10f.). In den beiden hier untersuchten Unterrichtseinheiten wurde beispielsweise im Zusammenhang mit der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* das dort beschriebene Würfelspiel nachgespielt und auch die Untersuchungsschritte des Zufallsexperimentes dem Beispiel nachahmend durchgeführt (Kap. 5.1.7). Bei der Bearbeitung der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* wurde ein dort beschriebenes Faltexperiment nachempfunden (Kap. 5.2.7). Auch die graphischen Bearbeitungshilfen (Haus der Vierecke, Drehmodelle der Vierecke) und Tabellen (Würfeltabelle zum Erfassen der Kombinationsmöglichkeiten) wurden rekonstruiert und in/mit ihnen gearbeitet, um Vergleiche und Reflexion zu erleichtern (Berg et al., 2018). Durch die gemeinsame Rekonstruktion des Gehörten am Material konnten auf diese Weise die Erkenntnisse der Protagonist:innen nachempfunden werden.

Auch nicht selbst generierte Materialien können diesbezüglich genutzt werden (Berg et al., 2018). In der Arbeit der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* werden beispielsweise Informationen gezielt strukturiert, indem mithilfe von Montessori-Material und Begriffskarten die im Beitrag genannten geometrischen Körper und ebenen Figuren sortiert werden (Kap. 5.2.6 und 5.2.7).

3.6 Zwischenfazit

Nachdem in Kapitel 3.4.1 mit den Kriterien für schülergerechte auditive Medien (F1.2) bereits ein Aspekt der Frage nach Gelingensbedingungen für den Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht beantwortet werden konnte, wurden in Kapitel 3.4.2 und Kapitel 3.5 mit der Entwicklung hördidaktischer Ansätze sowie konkreter Vorschläge für die Gestaltung von Höraufträgen ein weiterer Aspekt der Frage nach Gelingensbedingungen für einen gewinnbringender Einsatz auditiver Medien beantwortet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für den Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe spezielle – an die Zielgruppe angepasst bzw. für die Zielgruppe entwickelte – Beiträge genutzt werden müssen. Es wurden ausführlich fachliche, sprachliche und technische/ gestalterische Kriterien sowie Hinweise zur Analyse und Auswahl auditiver Medien gegeben. Ist eine Auswahl getroffen, folgt als nächster Schritt die unterrichtliche Gestaltung einer Lernumgebung, welche hördidaktische Ansätze berücksichtigen muss, um Hörverstehen und damit auch mathematisches Verstehen zu ermöglichen. Dazu wurden konkrete Vorschläge zum gewinnbringenden Einsatz auditiver Medien insbesondere bezüglich der Gestaltung von Höraufträgen als Hörtexterschließungshilfen gegeben. Es wurde festgestellt, dass im Sinne direkter Höraufträge besonders *focussed* und *scaffolded prompts* (Wylie & Chi, 2014) als Texterschließungshilfen (Leisen, 2013) geeignet sind, während im Sinne indirekter Höraufträge besonders Transferaufgaben zur Überprüfung nachhaltigen Lernens (Maier & Schweiger, 1999) angewandt werden sollten. Aus diesem Grund wurde in allen Lernumgebungen der Pilotierung sowie in den beiden Lernumgebungen, die im Rahmen der Hauptstudie untersucht wurden, der Schwerpunkt auf die Entwicklung und Untersuchung von Aktivitäten dieser Art gelegt.

4. Sprache im Mathematikunterricht

Nachdem die erste Forschungsfrage zur Beschaffenheit, den Gelingensbedingungen und hördidaktischen Ansätzen beantwortet werden konnte, soll im folgenden Kapitel – vorbereitend auf den empirischen Teil der Studie – die Bedeutung von Sprache im Mathematikunterricht in den Blick genommen werden. Dazu werden nach einem Überblick auf die aktuelle Forschungslandschaft (Kap. 4.1) die verschiedenen Rollen und Funktionen von Sprache (Kap. 4.2) sowie die in ihr enthaltenen Register dargestellt (Kap. 4.3). Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollen Grundprinzipien sprachsensiblen Mathematikunterrichts aufgezeigt werden, die auch in der vorliegenden Studie berücksichtigt und angewendet wurden (Kap. 4.4).

4.1 Forschungshistorie und Forschungsstand

Die Erkenntnis der Bedeutung von Bildungssprache als wesentlicher Faktor für den schulischen und beruflichen Erfolg sowie für die gesellschaftliche Teilhabe ist keine neue Erscheinung in erziehungswissenschaftlichen und fachdidaktischen Diskussionen. Schilcher et al. (2017) stellen präzise heraus, wie sich das Forschungsfeld zur Bedeutung von Bildungssprache in Bezug zum Mathematikunterricht entwickelt hat. Dabei nehmen sie sowohl Bezug zu aus der Soziologie stammenden Begriffe, wie dem kulturellen Kapital (Bourdieu, 1982), als auch zu linguistischen Erkenntnissen bzgl. der Unterscheidung konzeptioneller Mündlichkeit und Schriftlichkeit (Koch & Oesterreicher, 1985) sowie zur Theorie der sprachlichen Register von Halliday (1974). Konsens ist, dass „für unterschiedliche pragmatische Handlungskontexte unterschiedliche sprachliche Anforderungen bestehen (…) [sowie], dass sich sprachliche Anforderungen zum einen durch die sprachliche Komplexität an sich erhöhen, zum anderen durch die zunehmende Kontextreduktion“ (Schilcher et al., 2017, S. 11). In den letzten Jahren wurde durch Gogolin (2008) der Begriff der Bildungssprache neu geprägt. Die Autorin beschreibt mit ihm das Sprachregister, welches den schulischen Bildungszweig durchdringt und spezielle sprachliche Merkmale aufweist, die durch Lehrkräfte gefördert werden können und sollen. Damit hat sie nach PISA „einen Diskurs etabliert, an den die derzeitige empirische Forschung zu Bildungssprache anknüpft“ (Schilcher et al., 2017, S. 11).

Ausgehend von diesen allgemeinen Darstellungen entwickeln Schilcher et al. (2017, S.38) weiterhin eine detaillierte Übersicht zur Strukturierung des Forschungsfeldes ‚Mathematik und Sprache‘ und der Zuordnungen seiner Protagonist:innen. Dabei beschreiben sie folgende Forschungsbereiche: Linguistische Analyse der mathematischen Fachsprache, Empirie, Didaktik (Lehrseite) und Schülerkompetenzen. Die hier vorgelegte Arbeit lässt sich in den Bereich der Didaktik zu der von Schilcher et al. (2017) zusammenfassend aufgestellten

Fragestellung „Weitere sprachbezogene Maßnahmen (Materialien, Strategien, Konzepte, Fortbildungen…)“ zuordnen (S.38), die eng verzahnt mit dem Fach konzipiert und durchgeführt werden sollen.

In Bezug auf den Mathematikunterricht untersuchen Gallin und Ruf (1993) bereits seit über 20 Jahren Möglichkeiten der interdisziplinären Verbindung der Unterrichtsfächer Deutsch und Mathematik in der Praxis und zeigen, dass es Lernenden durch die Übertragung der mathematischen Fachsprache in die Alltagssprache gelingen kann, ein Problem zu erfassen und zu lösen, um es dann erst in einem weiteren Schritt wieder in die mathematische Fachsprache zu überführen (Schilcher et al., 2017, S. 13). Währenddessen untersuchen Maier und Schweiger (1999) die mathematische Fachsprache erstmals und sehr ausführlich unter sprachwissenschaftlichen Gesichtspunkten. „Sie stellen einerseits die Besonderheit der mathematischen Fachsprache vor dem Hintergrund sprachwissenschaftlich orientierter Überlegungen dar, andererseits versuchen sie, die Rolle der Sprache beim Lehren und Lernen von Mathematik zu beschreiben“ (Schilcher et al. 2017, S. 14). Leisen (2013) weitet diesen Diskurs auf alle Fächer aus. „Er versteht gezielte Sprachbildung als Aufgabe aller Fächer, denn Fachlernen und Sprachlernen entwickeln sich in gegenseitiger Abhängigkeit voneinander“ (Schilcher et al., 2017, S. 14). Alle drei bedeutenden Werke nähern sich dem Phänomen *Sprache im Fach* bzw. *Sprache im Fach Mathematik* sowohl praxisorientiert als auch linguistisch, legen jedoch keine empirische Überprüfung der Wirksamkeit ihrer vorgeschlagenen Maßnahmen vor.

Erste Studien hierzu wurden von Prediger und Kollegen:innen vorgelegt (Prediger et al., 2015). In Anlehnung an Maier und Schweiger (1999) weisen sie neben der kommunikativen Funktion von Sprache auch auf deren kognitive Funktion hin und zeigen, „dass gerade in der Verflechtung sprachlicher und fachlicher Aspekte der Schlüssel liegt, damit Lernende ihr Wissen strukturieren, anpassen und erweitern können und damit konzeptuelles Verständnis entwickeln“ (Schilcher et al., 2017, S. 15). Wichtig für die (Weiter-) Entwicklung wesentlicher mathematischer Fähigkeiten seien besonders die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Registern wechseln zu können (Prediger & Wessel, 2011) sowie der Aufbau des sprachlichen Repertoires und der Umgang mit sprachlichen Hürden (Prediger, 2013). Die Studien von Prediger et al. (2015) zeigen außerdem, dass Sprachkompetenz einen erheblich stärkeren Zusammenhang zur Mathematikleistung aufweist – als Faktoren zum sozialen Hintergrund. Dennoch ist weiterhin auch von sozialer Benachteiligung zu sprechen, da die Sprachkompetenz stark von familiär bedingten Lerngelegenheiten abhängt. Aktuelle Bildungsstudien bestätigen und verschärfen dieses Bild. Im bereits in der Einleitung zitierten IQB Bildungstrend 2021 beispielsweise

wurden unter anderem die Kopplung zwischen den erreichten sprachlichen Kompetenzen und dem sozioökonomischen Status ihrer Familien untersucht und dabei ein Anstieg der Ausprägung von mit dem sozioökonomischen Status verbundenen Disparitäten verzeichnet (Stanat et al., 2022). Prediger et al. (2015) halten deshalb folgerichtig fest:

> Doch während die Relevanz des SES [Socio Economic Status; Anm. d. Verf.] und des Migrationshintergrunds vor allem globale bildungs- und sozialpolitische Konsequenzen haben kann, verweist die Bedeutung der Sprachkompetenz konkret auf Handlungsfelder im Unterricht, ist also ein didaktisch höchst relevanter Angriffspunkt zur Reduktion sozialer Ungleichheit. Dass ein entsprechend ausgerichteter sprachsensibler Mathematikunterricht vermutlich gleichzeitig allen Lernenden zugutekommen kann, macht ihn zum besonders wichtigen Handlungsfeld für Unterrichtsentwicklung, auch wenn die Vermutung noch zu überprüfen ist. (S. 22)

Auch über den Mathematikunterricht hinaus belegen internationale Schulleistungsstudien wie PISA, IGLU und der nationale IQB-Bildungstrend einen engen Zusammenhang zwischen bildungssprachlichen Kompetenzen und fächerübergreifendem schulischem Erfolg. Die Kultusministerkonferenz (2019) betont, dass bildungssprachliche Kompetenzen wie Lesen, Schreiben, Zuhören und Sprechen der Persönlichkeitsentwicklung dienen, welche die Teilnahme an demokratischen Aushandlungsprozessen ermöglichen und deshalb der Schlüssel zur gesellschaftlichen Teilhabe sind (Kultusministerkonferenz, 2019).

Sprachsensibler Fachunterricht im Allgemeinen ist also von immenser Bedeutung sowohl für das von Prediger et al. (2015) angesprochene Vorgehen gegen Benachteiligung und ungleich verteilte Lernvoraussetzungen als auch für die allgemeine Befähigung junger Leute zur gesellschaftlichen Teilhabe. Enger gefasst wird im Hinblick auf die an sprachliche Leistungen gebundenen mathematischen Leistungen ein durchgängiger und konsequenter sprachsensibler Mathematikunterricht berechtigterweise eingefordert (Kultusministerkonferenz, 2019; Gogolin, 2009; Götze, 2015). Auch der Zusammenhang von Medien und Sprache beim Lernen von Mathematik wird vielfach untersucht. Durch die fachdidaktischen Möglichkeiten des Einsatzes digitaler Medien können vor allem die allgemeinen mathematischen Kompetenzen *Darstellen* und *Kommunizieren* (Kultusministerkonferenz, 2005) und ihre Anforderungen an fachgebundene Sprachbildung neu gedacht werden. Schreiber und Klose (2022) stellen zusammenfassend Forschungsergebnisse zu verschiedenen digitalen Einsatzmöglichkeiten dar, die diese sprachbezogenen Kompetenzen in den Blick nehmen. An dieser Stelle knüpft auch die vorliegende Studie an und untersucht die fachdidaktischen Einsatzmöglichkeiten und (sprachbezogenen) Potenziale auditiver Medien.

4.2 Sprache in ihren verschiedenen Funktionen und Rollen

In der Linguistik werden die sprachlichen Leistungen bzw. Funktionen auf verschiedene Art in Theoriemodelle gefasst und tiefgehend problematisiert. Eines der wichtigsten und bekanntesten Modelle ist das Organon-Modell des Sprachpsychologen Karl Bühler (1934), dessen Ausgangspunkt durch die Idee dargestellt wird, dass Sprache ein Werkzeug zu Mitteilungszwecken sei. Dabei bezieht er sich auf Platons Kennzeichnung von Sprache als *organum didaskaleion*, was aus dem Griechischem übersetzt werden kann mit „ein Werkzeug, womit einer dem anderen etwas mitteilt über die Dinge“ (Pelz, 1998, S. 46). Bühler (1934) beschreibt die Funktionen von Sprache in seinem Modell in drei Aspekten (Abb. 15): die Ausdrucksfunktion, die Appellfunktion und die Darstellungsfunktion.

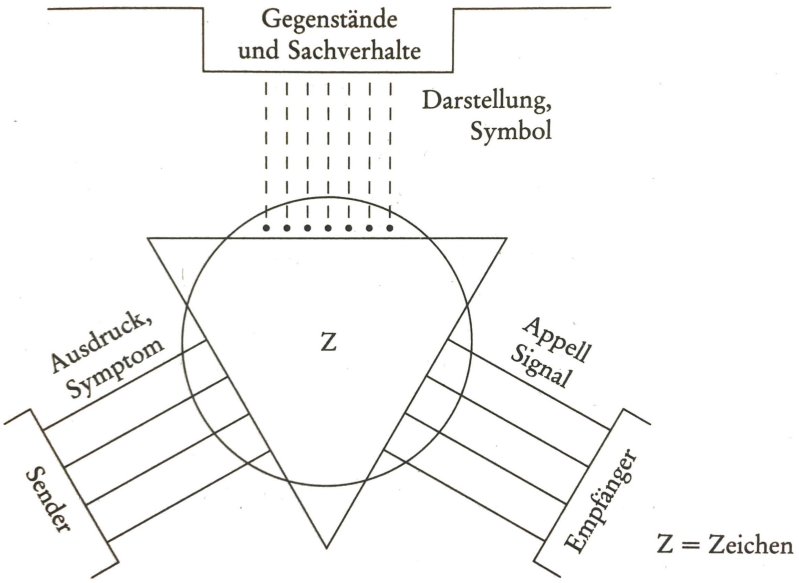


Abbildung 15: Organon-Modell nach Karl Bühler (entnommen aus Pelz, 1998, S. 47)

Sprache ist also keinesfalls nur Darstellung von Zeichen, Kodes oder Nachrichten, sondern funktioniert als Darstellung, Ausdruck und Appell bzw. Symbol, Symptom und Apell zugleich. Schulz von Thun (1995) kombiniert das Bühlersche Kommunikationsmodell mit Watzlawicks (1969) Sichtweise von Kommunikation als Ausdruck von Beziehungen zu seinem Modell des ‚vierohrigen Empfängers‘, welches vier mögliche Ebenen der Kommunikation enthält: eine Sach-, eine Beziehungs-, eine Selbstoffenbarungs- und eine Appellebene. Diese Ebenen stellen die vier Ohren dar, auf denen der Empfänger eine Nachricht hören kann. In jeder Nachricht sind alle vier Ebenen enthalten, meist ist jedoch eine Ebene explizit und die anderen implizit ausgedrückt (Schulz von Thun, 1995). Gelingende Kommunikation braucht deshalb die

Balance der verschiedenen (oder verschieden verstandenen) Ebenen zwischen Sprecher und Empfänger.[14]

In der mathematikdidaktischen Literatur beschreiben Maier und Schweiger (1999, S. 17) Sprache mit einer zumindest doppelten Funktion: einer kommunikativen und einer kognitiven Funktion. Im Sinne der kognitiven Funktion dient sie dem Erkenntnisgewinn, dem Ordnen des eigenen Denkens und dem Eröffnen von neuen möglichen Denkwegen. Im Sinne der kommunikativen Funktion dient sie als zentrales Medium für den Gedankenaustausch mit anderen Kommunikationspartnern der Verständigung (Meyer & Tiedemann, 2017). Der Erkenntnisgewinn als kognitive Leistung wird deutlich, wenn man die begriffliche Repräsentation bzw. die Schaffung von Begriffen betrachtet. Die begriffliche Repräsentation ist eine „Verdichtung der Information" (Maier & Schweiger, 1999, S. 18), durch die neue Einsichten entwickelt werden können. Das Schaffen von Begriffen sowie das Benennen von Strategien und Techniken macht ebendiese leichter aufrufbar und verfügbar. Außerdem können auf diese Weise zahlreiche Informationen in einem Wort zusammengefasst werden. Dies kann den Erkenntnisgewinn sowie die Fixierung und begriffliche Durchdringung von Wissensbereichen unterstützen. Das Benennen von Ergebnissen des individuellen Denkens macht es mitteilbar und für andere nachvollziehbar (Maier & Schweiger, 1999, S. 18).

Es wird deutlich, dass beide Funktionen von Sprache eng miteinander verwoben sind und die kommunikative Funktion verstärkend auf die kognitive einwirkt. Diese Verstärkung kann auf zweierlei Weise geschehen (Meyer & Tiedemann, 2017): Zum einen kann die kommunikative Funktion der Sprache der kognitiven Funktion zusätzliche Tiefe verleihen, da die Kommunikationsabsicht eine Sortierung des Denkens erforderlich macht. Bevor mathematische Ideen geäußert werden können (egal ob mündlich oder schriftlich) müssen sie strukturiert und damit tiefergehender durchdacht werden. Zum anderen kann die kommunikative Funktion zu Differenzierungen in der Kognition führen, indem Ergebnisse individuellen Denkens reflektierbar und mitteilbar und somit für andere zugänglich gemacht und vervielfältigt oder elaboriert werden können.

In Bezug auf bildungssprachliche Anforderungen zeigen Prediger und Sahin-Gür (2020) auf, dass bisher eher die kommunikative Funktion von Sprache untersucht wurde, indem z.B. Sprachhürden in Arbeitsmaterialien identifiziert wurden. Sie betonen deshalb die Bedeutung der "epistemic role as an intrapersonal thinking tool in students' epistemic processes" (Prediger

[14] Im Sinne der Theory of Mind beginnt Verständnis und gelingende Kommunikation schon mit dem grundlegenden Wissen, dass der jeweils andere eine andere als die eigene und intendierte Ebene in den Fokus nimmt bzw. nehmen kann. Eine Darstellung der komplexen Theorie soll an dieser Stelle nicht vorgenommen werden, lässt sich aber z.B. bei Astington und Dack (2008) nachlesen.

& Sahin-Gür, 2020, S. 50) und verstehen diese Prozesse dabei als Prozesse der Wissenskonstruktion. Die epistemische (kognitive) Funktion von Sprache steht also in bedeutendem Zusammenhang mit individueller Wissenskonstruktion. Obwohl die kognitive Funktion bereits gut beschrieben ist, sieht Moschkovich (2002, S. 12) einenn bedeutenden Forschungsbedarf in Bezug auf die empirische Untersuchung der Entwicklungsprozesse von konzeptuellem Verständnis bei Schülern, um zu zeigen, dass und wie Lernende durch und mit Sprache lernen.

Die Rollen von Sprache

Neben diesen beiden Funktionen kann Sprache im Mathematikunterricht auch in drei Rollen differenziert betrachtet werden (Maier & Schweiger, 1999; Meyer & Tiedemann, 2017):
Sprache als Lerngegenstand: Über fachsprachliche Mittel können Inhalte präzise dargestellt werden. Diese Mittel sowie die Beziehung zwischen ihnen bzw. zwischen Symbolen und ihren Bedeutungen müssen jedoch von jedem Schüler und jeder Schülerin individuell gelernt werden. Somit ist (Fach)Sprache Lerngegenstand bzw. Lernziel, da gut entwickelte (fach)sprachliche Fähigkeiten eine spätere aktive Teilhabe an der Gesellschaft sowie höhere Bildungschancen ermöglichen. Die Kompetenzerwartungen des Lehrplans fordern ihren Erwerb verbindlich ein (Meyer & Tiedemann, 2017; Kultusministerkonferenz, 2019).
Sprache als Lernmedium: Fachliche Lernprozesse müssen sowohl vom Lerner als auch von der Lehrkraft stets sprachlich vermittelt werden, sei es mündlich oder schriftlich, um Verständigung über Mathematik zu ermöglichen. Bedeutungszuschreibungen resultieren „zum einen aus einer individuellen Anschauung, sind zum anderen aber auch das Produkt einer interaktiven und im Mathematikunterricht zumeist sprachlich vermittelten Aushandlung mit anderen Lernenden oder der Lehrperson“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 44). Als Lernmedium dienen die Sprache bzw. Prozesse des Versprachlichens also dem Austausch von Wissen und Inhalten sowie der (gemeinsamen) Erarbeitung von neuen oder ausgeschärften Bedeutungen.
Sprache als Lernvoraussetzung und potentielles Lernhindernis: Wenn Sprache ein Lernmedium des Unterrichts ist und Lernprozesse also auch von ihrem Gebrauch abhängen, so ist sie gleichermaßen auch Lernvoraussetzung (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 45). Allerdings zumeist eine „ungleich verteilte Lernvoraussetzung, über die nicht alle Kinder im gleichen Maß verfügen“ (Prediger & Götze, 2017, S. 9) – unabhängig davon, ob sie deutscher oder nichtdeutscher Erstsprache sind. Während Lernende aus bildungsnahen Milieus mit dem bildungssprachlichen Register bereits vertraut sind, erfüllen Lernende aus bildungsfernen

Milieus diese bildungssprachlichen Lernvoraussetzungen oft nicht (Meyer & Prediger, 2012). So kann es bei diesen Kindern zu Schwierigkeiten in der Sprachproduktion und –rezeption und damit zu einem nur eingeschränkten Zugang zur Mathematik kommen. Somit kann Sprache also auch zu einem Lernhindernis werden.

4.3 Begriffsklärung – die sprachlichen Register

Um von sprachlichen Erscheinungs- und Verwendungsweisen sprechen zu können, ist es hilfreich und sinnvoll, im Sinne Hallidays (1974) verschiedene sprachliche Register zu unterscheiden.

> A register is a set of meanings that is appropriate to a particular function of language, together with the words and structures which express these meanings. We can refer to a "mathematics register", in the sense of meanings that belong to the language of mathematics (the mathematical use of natural language, that is: not mathematics itself), and that a language must express if it is used for mathematical purposes. (S. 65)

Ein Sprachregister bezeichnet also eine funktionale Verwendung von Sprache, die sich in Begriffen und Struktur an die durch die Situation gegebenen Anforderungen anpasst. Ein ‚mathematisches Register' bezeichnet somit Bedeutungszuordnungen fachbezogener Sprache, d.h. Sprache, die zu mathematischen Zwecken genutzt wird. Da es im Mathematikunterricht unterschiedliche Anforderungssituationen gibt, sind auch unterschiedliche Sprachregister vorzufinden (zusammenfassend z.B. Meyer & Tiedemann, 2017). Zu ihnen zählen im Allgemeinen das alltagssprachliche, das bildungssprachliche sowie das fachsprachliche Register. Feilke (2013) spricht außerdem von der Schulsprache und Tiedemann (2015) schlägt ergänzend die Unterrichtsfachsprache vor. Im Folgenden sollen die einzelnen Begriffe geklärt und voneinander abgegrenzt werden sowie zuvor die Einteilung in konzeptionell mündliche und konzeptionell schriftliche Sprache betrachtet werden.

4.3.1 Sprache der Nähe und Sprache der Distanz – Von Mündlichkeit und Schriftlichkeit

In einem Aufsatz von 1985 kritisierten Koch und Oesterreicher „die Ansicht, die gesprochene Sprache sei als defizienter Modus der ‚eigentlichen' Sprache, sprich: der geschriebenen Sprache, zu betrachten" (Koch & Oesterreicher, 1985, S. 25). Dieser verbreiteten Abwertung gesprochener Sprache im Vergleich zur geschriebenen sowie der Tendenz, die gesprochene Sprache mit der Alltagssprache gleichzusetzen, galt es entgegenzuwirken. Aus diesem Grund entwickelten sie mit ihrem Nähe-Distanz-Kontinuum ein Modell, mit dem sprachliche Äußerungen zum einen dichotom hinsichtlich ihres Mediums und ihrer Konzeption

unterschieden und zum anderen im Hinblick auf sprachliche Nähe und sprachliche Distanz beschrieben werden. Dies lässt sich zurückführen auf unterschiedliche sprachwissenschaftliche Einflüsse wie z.B. Bühlers Sprachtheorie (1934) und seine Unterscheidung zwischen ‚Sprechhandlung' und ‚Sprachwerk'. Sprachliche Äußerungen können im Nähe-Distanz-Kontinuum entweder medial mündlich (also in phonischer Form) oder medial schriftlich (also in graphischer Form) vorliegen (Feilke, 2016). Dabei wird der Medienbegriff auf die Modalität bzw. den Kode einer geäußerten Information bezogen und nicht auf das technische Medium. Die Konzeption betreffend können sprachliche Äußerungen entweder konzeptionell mündlich realisiert sein (z.B. während eines informellen Gespräches unter Freunden) oder aber auch konzeptionell schriftlich (z.B. in einem Bewerbungsschreiben).

Im Gegensatz zum Medium ist die Konzeption stufenlos. Sie ist nicht unbedingt entweder konzeptionell mündlich oder schriftlich, sondern eine Äußerung kann auch *eher* konzeptionell mündlich als schriftlich oder umgekehrt konzipiert sein. Es gibt also ein Kontinuum zwischen der Sprache der Nähe und der Sprache der Distanz, in welchen Äußerungen nach ihrer Konzeption tendenziell eingeordnet werden können (Koch & Oesterreicher, 1985). Dabei gibt es auch Mischformen: ein Vortrag, der mit einer PowerPoint-Präsentation unterstützt wird, kann sowohl medial phonisch (gesprochener Vortrag) als auch medial graphisch (PowerPoint-Folien) bezeichnet werden. Auch in der Konzeption sind hier mehrere Verortungen möglich. So kann der gesprochene Vortrag tendenziell eher konzeptionell schriftlich vorbereitet und vorgetragen werden – die Präsentationsfolien mit ihren Stichworten und Halbsätzen jedoch eher konzeptionell mündlich sein (Günther, 1997). Denn gesprochene und geschriebene Sprache existieren – wie sich in diesem Modell veranschaulichen lässt – nicht nebeneinander, sondern „durcheinander" (Günther, 1997, S. 68). Dieses Durcheinander ist jedoch kein Chaos, sondern „es wird durch den Bezug auf Nähe- und Distanzparameter unterschiedlicher Art verständlich" (Feilke, 2016, S. 124)

Wo und wie Äußerungen in dieses Modell eingeordnet werden müssen oder können, lässt sich an Merkmalen des Gesprochenen sowie den gegebenen Kommunikationsbedingungen erkennen (Koch & Oesterreicher, 1985; Günther, 1997). So weisen konzeptionell mündliche Äußerungen eher einen Dialogcharakter auf, konzeptionell schriftliche hingegen eher Monologcharakter (Günther, 1997; Abb. 16). Die meisten Gespräche des Alltags sind konzeptionell eher mündlich, da sie interaktiv, dialogisch und kontextabhängig sind. Ohne die reale Situation sind sie nur schwer oder gar nicht zu deuten. Anders ist es hingegen bei konzeptionell schriftlichen Äußerungen: Unabhängig von Adressaten und Zeitpunkt der Rezeption kann im Normalfall die Bedeutung erschlossen werden.

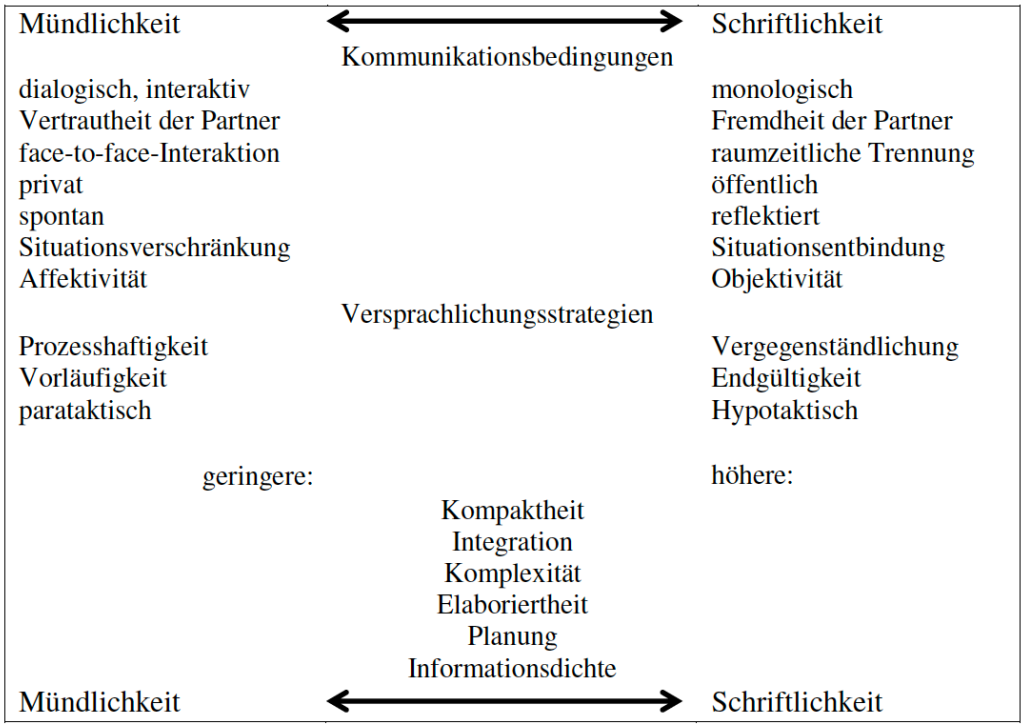


Abbildung 16: Merkmale konzeptioneller Schriftlichkeit und Mündlichkeit nach Koch und Oesterreicher (1985) (entnommen aus Günther, 1997, S. 66)

Abbildung 16 zeigt die Kommunikationsbedingungen sowie die entsprechenden Versprachlichungsstrategien von konzeptionell mündlichen und schriftlichen Sprachhandlungen. Aufgrund der Merkmale und Strategien dieser verschiedenen Kommunikationsbedingungen sprechen Koch und Oesterreicher bei konzeptionell mündlichen Äußerungen von einer „Sprache der Nähe“ und bei konzeptionell schriftlichen Sprachhandlungen von einer „Sprache der Distanz“ (Koch & Oesterreicher, 1985, S. 15). Das Modell hat eine breite und anhaltende Rezeption erhalten – vor allem in der germanistischen Sprachdidaktik und dort besonders in Forschungsarbeiten zum Schriftlichkeitserwerb (Feilke, 2016). Dies liegt, so Feilke, zum einen an der passenden Metaphorik und zum anderen daran, „dass an die Stelle von Antinomien ein Kontinuum gesetzt wird, das Anschlussmöglichkeiten für disziplinär vielfältige Interpretationen bietet“ (Feilke, 2016, S. 120). Auch in der Mathematikdidaktik hat das Modell Anklang gefunden und wurde beispielsweise in den Arbeiten von Fetzer (2007), Schreiber (2010) und Klose (2022) genutzt – in letzterer bereits für den Bereich auditiver Medien im Mathematikunterricht.

Auch die dieser Arbeit zugrundeliegenden auditiven Medien können in das Modell sprachlicher Nähe und Distanz eingeordnet werden. Die Radiosendungen des Kinderfunkkollegs liegen als auditive Medien zunächst einmal medial phonisch vor.

Konzeptionell gesehen können sie innerhalb des beschriebenen Sprachkontinuums sowohl hinsichtlich der Kommunikationsbedingungen als auch hinsichtlich der Versprachlichungsstrategien variieren. Die O-Töne der Kinder sind eher im Bereich ‚Sprache der Nähe' zu verorten, während die O-Töne der Expert:innen sich oft der ‚Sprache der Distanz' bedienen. Die Redeanteile der Moderatorin versuchen hier eine Brücke zu schlagen und sind deshalb meist im mittleren Bereich zu verorten. Eine detailliertere sprachliche Analyse der Radiosendungen folgt in Kapitel 5.

4.3.2 Alltagssprache

Die Alltagssprache umfasst täglich genutzte Sprachgewohnheiten und „erlaubt funktional betrachtet eine rasche und reibungslose Kommunikation im Alltag" (Tiedemann, 2017, S. 43) auch mit unvollständigen Sätzen. Meist ist sie nur in situativen Kontexten zu verstehen, in denen die Gesprächspartner ihre Interaktion spontan organisieren, die Rollen des Sprechens und des Zuhörens jederzeit tauschen sowie die geteilte Situation nutzen können, um nicht Verstandenes nachzufragen oder sich dem jeweils anderen zusätzlich verständlich zu machen durch z.B. Deiktika, sprachliche Mittel, welche die eigentlichen Referenzwörter substituieren und auf etwas hindeuten, sowie Gestik oder Mimik (Meyer & Tiedemann, 2017):

> Eine solche spontane Kommunikation (…) führt aus linguistischer Perspektive häufig zu kurzen, grammatisch unvollständigen oder auch fehlerhaften Sätzen. Wörter werden mit unscharfen Bedeutungsfeldern genutzt und Texte zumeist spontan und in Kooperation mit dem Gesprächspartner produziert. Eine Explikation des Gemeinten erfolgt nur, soweit es für die Verständigung mit dem Gegenüber erforderlich ist. (…) Gewisse Ungenauigkeiten in der Bedeutung, aber auch in den grammatikalischen Konstrukten können dabei akzeptiert werden, ohne dass der inhaltliche Austausch leidet oder ins Stocken gerät. (S. 12)

Alltagssprache kann also sogar mit fehlerhaften Sätzen noch gelingen, da bei Missverständnissen in den direkten Situationen nachgefragt und so eine inhaltliche Übereinstimmung gefunden werden kann. Strukturell ist Alltagssprache also u.a. durch Begriffe mit weiten oder unscharfen Bedeutungsfeldern, durch einfache grammatikalische Satzkonstruktionen und eine dialogische Textstruktur geprägt (detailliert dargestellt in Meyer & Prediger, 2012). Dies lässt sich auch im Modell sprachlicher Nähe und Distanz von Koch und Oesterreicher (1985) aufzeigen. Neben face-to-face Situationen, in denen Alltagssprache gesprochen wird (medial phonisch), kann sie auch schriftlich (medial graphisch) beispielsweise mittels elektronischer Medien, wie Chats, realisiert werden (Meyer & Tiedemann, 2017). In privater Kommunikation mit geteiltem Bedeutungskontext kann auch in schriftlicher Form mit

wenigen Worten ausgekommen werden. Es können also beide Situationen als konzeptionell mündlich eingeschätzt werden.

4.3.3 Fachsprache

Demgegenüber stehen konzeptionell schriftliche Kommunikationsstrategien, die für eine fachliche Kommunikation genutzt werden, „bei der Gedanken unabhängig von einer konkreten Interaktionssituation vollständig, präzise und kompakt geäußert werden sollen“ (Tiedemann, 2017, S. 43). Bei dem Verfassen eines Lehrwerkes oder dem Sprechen einer Nachrichtensendung beispielsweise sind die Adressat:innen nicht anwesend oder unbekannt, die Prozesse der Sprachproduktion und Sprachrezeption sind voneinander entkoppelt und Autor:innen bzw. Sprecher:innen müssen ein Verständnis ihrer Texte/ Äußerungen möglichst ohne Rückfragen sichern.

> Aus diesem Grund wird er sich um Exaktheit und Vollständigkeit bemühen, was die sprachlichen Strukturen seiner Äußerung aus linguistischer Sicht tendenziell komplexer werden lässt. Die Bedeutungen zentraler Wörter werden expliziert und jene Wörter in der Folge mit scharf abgegrenzter Bedeutung verwendet, Sätze werden aus Hauptsätzen, Nebensätzen und Einschüben komponiert und auf Textebene durch explizite Markierung der Kohäsion zu einem Ganzen verbunden. (Tiedemann, 2017, S. 43)

Um Vollständigkeit und Präzision zu ermöglichen, wird also die erhöhte Komplexität der sprachlichen Strukturen in Kauf genommen (Meyer & Prediger, 2012), welche die Elemente der Schriftsprache widerspiegelt. Ein solches Sprachregister wird *Fachsprache* genannt. Fachsprache lässt sich wie Alltagssprache medial phonisch und graphisch finden (Bsp. Vorlesung bzw. wissenschaftlicher Artikel), nutzt aber konzeptionell schriftliche Kommunikationsstrategien. In unterrichtlichen Situationen wird Fachsprache auch mit anwesenden und bekannten Adressaten verwendet. Gleichbedeutend ist hier die Tatsache, dass fachsprachliche Mittel, die die Lernenden zu gebrauchen lernen, ihnen insgesamt eine präzisere Darstellung eigener Ideen ermöglichen, „wodurch die Verwendung der Sprache ökonomischer und dem Ziel der Aushandlung mathematischen Wissens zuträglicher wird“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 43). Im linguistischen Sinne ist die Fachsprache jedoch keine völlig neue Sprache, sondern baut auf der Alltagssprache auf. Sie bildet zwar ein eigenes, neues Sprachregister, kann aber aus bereits bestehenden sprachlichen Fähigkeiten in der Alltagssprache entwickelt werden (Meyer & Prediger, 2012). Wagenschein (1968, S.102) nennt die Fachsprache auch die „Sprache des Verstandenen“, die sich jedoch erst von der Basis der Alltagssprache durch eine „Sprache des Verstehens“ heraus entwickeln kann. Aus diesem

Grunde ist es legitim und sinnvoll, bei Erarbeitungsprozessen auch der Alltagssprache als ‚Sprache des Verstehens' Raum zu geben und nicht nur auf ein Einschleifen von Fachbegriffen zu pochen.

Maier und Schweiger (1999) beschreiben, dass die Sprachwissenschaft üblicherweise verschiedene Untersuchungsebenen der sprachlichen Struktur unterscheidet (Phonologie, Morphologie, Lexikon, Syntax, Semantik und Pragmatik). In den ersten beiden Ebenen sehen sie keine Abweichung der mathematischen Fachsprache von den jeweiligen Landessprachen: Die Fachsprache hat weder neue Laute oder Lautkombinationen hinzugefügt (Untersuchungsebene Phonologie) noch folgt sie anderen grammatischen Regeln (Untersuchungsebene Morphologie). Anders liegt der Sachverhalt jedoch bei den anderen Aspekten sprachlicher Analyse. Insbesondere soll im Folgenden die Untersuchungsebene Lexikon (Fachwörter und -begriffe) betrachtet werden.

Die Wortebene in der Alltags- und Fachsprache vergleichend, lassen sich nach Maier und Schweiger (1999) drei Kategorien mathematischer Fachbegriffen ausmachen:

- Wörter, die in der Alltagssprache nicht vorkommen: z.B. ‚Primzahl' oder ‚Stochastik'.
- Wörter, die sowohl in der Alltagssprache als auch in der Fachsprache mit ähnlicher oder sogar gleicher Bedeutung vorkommen: z.B. ‚unwahrscheinlich' oder ‚Dreieck'.
- Wörter, die mit zwei Bedeutungen belegt sind (Polysemie): z.B. ‚Produkt' oder ‚Wurzel'. Bei näherer Analyse kann hier jedoch oft eine gemeinsame Herkunft festgestellt werden: „Produkt [als] 'Ergebnis einer Multiplikation oder einer algebraischen Konstruktion' bzw. 'Ergebnis eines Herstellungsprozesses'" (Maier & Schweiger, 1999, S. 29).

Polysemie kann zwischen Alltags- und Fachsprache vorliegen (z. B. ‚Wurzel'*),* aber auch innerhalb der Fachsprache selbst, sodass kontextspezifische Interpretationen erforderlich sind (Meyer & Tiedemann, 2017). Der Begriff ‚Winkel' beispielweise kann je nach mathematischem Kontext etwa als System von zwei Halbgeraden, als Flächenstück im Sinne eines Winkelfeldes und als ein Drehmaß verstanden und genutzt werden (Maier und Schweiger, 1999, S. 97). Für Kinder entstehen in der Fachsprache also Bedeutungsverschiebungen. Detaillierte Analysen fachsprachlicher Elemente erfolgen bezogen auf die Inhaltsbereiche der hier verwendeten Radiosendungen in den sprachlichen Analysen ebendieser (Kap. 5).

4.3.4 Bildungssprache

Meyer und Tiedemann (2017) betonen, dass die Unterscheidung zwischen konzeptioneller Mündlichkeit und Schriftlichkeit aus didaktischer Sicht dann von besonderer Bedeutung ist,

wenn gefragt wird, welche Sprache im Schulunterricht von den Lernenden verlangt wird. Charakteristisch für den Unterricht ist weder die Verwendung der Alltagssprache noch eine reine Verwendung von Fachsprache. Stattdessen wird hauptsächlich ein weiteres Sprachregister als Lernmedium genutzt. Dieses Register ist die Bildungssprache, die selbst in gesprochener Form viele Merkmale von Schriftlichkeit aufweist, und deswegen als „Sprache der Distanz" (Koch & Österreicher, 1985, S. 15) bezeichnet werden kann. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Begriff Bildungssprache als Bezeichnung für die Sprache der Gebildeten genutzt. Gegenstück der Bildungssprache war in dieser Interpretation die Mundart als Sprache der gesellschaftlich niederen Schichten (Gogolin, 2008). Heute wird mit der Bildungssprache das dritte Hauptregister der Sprache beschrieben, welches durch die Ziele und Traditionen der Bildungseinrichtungen geprägt und fächerübergreifend konzeptionalisiert ist (Meyer & Tiedemann, 2017). Gogolin (2008) definiert die Bildungssprache folgendermaßen:

> Gemeint ist das einen schulischen Bildungsgang durchdringende formelle Sprachregister, das vor allem der Übermittlung von hoch verdichteten kognitiv anspruchsvollen Informationen in kontextarmen Konstellationen dient. (S. 26)

Bildungssprache kann also als das Medium verstanden werden, das in Bildungseinrichtungen Verwendung findet und der Vermittlung von Wissen dient. „Mit Bildungssprache werden die Lernenden sowohl in Texten (Schulbüchern, Tageszeitungen, ...) als auch durch die Sprache der Lehrkraft konfrontiert" (Meyer & Prediger, 2012, S. 3). Sie kann abstrakte und komplexe Fachinhalte aufnehmen sowie ausdrücken und vermittelt dabei gewissermaßen zwischen wissenschaftlichen Fachdisziplinen und dem Alltag der Bildungseinrichtungen (Tiedemann, 2017). In der Expertise „Bildung durch Sprache und Schrift" (Schneider et al., 2012), einer Bund-Länder-Initiative zur Sprachförderung, Sprachdiagnostik und Leseförderung wird die Bildungssprache in Abgrenzung von der Alltagssprache definiert:

> Bildungssprache unterscheidet sich von der sogenannten Umgangs- oder Alltagssprache durch ein hohes Maß an konzeptioneller Schriftlichkeit und zeichnet sich durch ein spezifisches Inventar an lexikalischen, morphosyntaktischen und textlichen Mitteln aus. (S. 23)

Bildungssprache ist also an der Schriftsprache orientiert und weist einen erhöhten Grad an Komplexität, Explizitheit und Situationsentbundenheit auf. Strukturell teilt sie sich viele charakteristische Merkmale mit der Fachsprache und ist eng mit ihr verknüpft. Sie ist jedoch nicht fachspezifisch, sondern fächerübergreifend gedacht. Wegen dieser Ähnlichkeit wird dieses Register deutlich näher an Fachsprache als an Alltagssprache verortet (Meyer & Prediger, 2012; Wessel, 2015; Abb. 17). Götze (2015, S. 22) fasst Bildungs- und Fachsprache sogar als ein Register zusammen.

Alltagssprache	**Bildungssprache**	**Fachsprache**
Kontextualisiert: Einbettung in Interaktion mit direktem Gegenüber, sodass alle Beteiligten Bezugsmaterialien sehen und auf diese verweisen können.	⟷	Dekontextualisiert: Abstrahieren von konkreten Situationen, um detaillierte Informationen über einen Gegenstand zu formulieren, der nicht direkt vorliegt.
Dies impliziert auf *Wort-, Satzebene- und Textebene* folgendes Kontinuum:		
Wortebene		
mit verschiedenen Bedeutungen belegte Begriffe	⟷	spezifisch definierte, präzise und eindeutige (Fach-)Begriffe
kontextgebundene Bedeutung von Wörtern	⟷	weitgehend kontextentbundene Bedeutung von Wörtern
Satz- und Textebene		
spontane Sprachproduktion, in der Regel mit konkretem Adressaten	⟷	geplante Sprachproduktion, häufig ohne konkreten Adressaten
kontextgebunden → Gebrauch situativer Sprache wie z.B. deiktischer Mittel (z.B. da, das) möglich → Personalisierungen möglich		kontextentbunden → komplexer und abstrakterer Sprachgebrauch mit höherer Informationsdichte → entpersonalisiert
konzeptionell mündlich (auch in medial schriftlichem Gebrauch)	⟷	konzeptionell schriftlich (auch in medial mündlichem Gebrauch)
Einfache Satzkonstruktionen, unvollständige Sätze möglich	⟷	Vollständige Sätze mit komplexen Satzstrukturen: z.B. Nominalisierungen, Nominalgruppen, Passivkonstruktionen, komplexe Attribute

Abbildung 17: Spezifizierung des Kontinuums von Alltags- zu Fachsprache (entnommen aus Wessel, 2015, S. 26)

Die Doppelpfeile in Abbildung 17 verdeutlichen den kontinuierlichen Charakter und die Beweglichkeit dieser sprachlichen Verortung im Fach: „Je nach mathematischer Aufgabe oder Thema verfügen die Kinder über mehr oder weniger ausgefallene sprachliche Mittel für ihre mündlichen wie auch schriftlichen Beschreibungen“ (Götze, 2015, S. 23). An einem konkreten Beispiel einer Einkaufssituation machen Meyer und Prediger (2012, S.4) die graduellen Unterschiede der drei Register noch deutlicher. Sie zeigen dabei auf, dass in den verbalen Darstellungen zunehmend der Kontext und die Handlungsabfolge verschwindet, die Sätze werden kürzer und präziser, die Satzkonstruktionen dafür deutlich komplexer. Es zeigen sich auch in der gesprochenen Bildungssprache vermehrt Elemente der Schriftsprache bzw. der konzeptionellen Schriftlichkeit. Gleichzeitig zeigen die Verben der Beispiele die „fließende[n] Grenzen zwischen den Sprachregistern, denn auch in der Alltagsprache gibt es mathematische oder für die Geschäftswelt typische Fachbegriffe („reduziert“, „Rabatt geben auf“)“ (Meyer & Prediger, 2012, S. 4). Explizit weist Gogolin (2009) dem Register Bildungssprache die

Merkmale formeller, monologischer und schriftförmiger Kommunikation zu. Dadurch lässt sich die Bildungssprache durch eine konzeptionelle Schriftlichkeit definieren und weist somit Schnittmengen mit der Fachsprache auf (Meyer & Tiedemann, 2017).

Unter anderem ist auch die Bildungssprache so realisiert, dass sie unabhängig von Zeitpunkt und Ort ihrer Entstehung und ohne situativen Kontext verstanden werden kann. Gleichwohl steht laut Aukermann jede sprachliche Äußerung immer in einem Kontext: „No text and no spoken word ever exists without a context“ (Aukermann, 2007, S. 630). Es kann also irreführend sein, von einem dekontextualisierten Sprachgebrauch zu sprechen. Sprache wird immer mit Bezug zu einem Kontext produziert und reproduziert. Diese Kontexte können aus Sicht des Individuums stark variieren (Aukermann, 2007). Dies ist im Sinne der oben beschriebenen vier Ebenen einer Botschaft zu deuten (Schulz von Thun, 1995; Kap. 4.2): Beispielsweise können Schüler:innen (Perspektive der Empfänger) die Aussage einer Lehrkraft missverständlicherweise mit einem anderen Kontext in Verbindung bringen als von der Lehrkraft intendiert (Perspektive des Senders). „Die Rekontextualisierung des Schülers ist vorhanden, kommt aber mit der der Lehrkraft nicht zur Passung“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 20). Das Verständnis von bildungssprachlichen Äußerungen setzt also zum Teil übergreifendes Wissen voraus und stellt präzise (Rück-)Bezüge mit sprachlichen Mitteln her ohne die Verständnishilfe der konkreten Situation (Abshagen, 2015). Die Kontexterschließung erfordert dann nicht nur einen umfassenderen Wortschatz sowie ein Verständnis und die Verwendung von grammatikalisch komplexeren Strukturen. Denn das bildungssprachliche unterscheidet sich vom alltagssprachlichen Register in allen drei Dimensionen von Sprache: der lexikalischen, der syntaktischen sowie der Diskursebene (Meyer & Prediger, 2012; Prediger & Sahin-Gür, 2020).

Es müssen also auch diskursive Besonderheiten betrachtet werden, da in verschiedenen Situationen und Diskursanforderungen des Unterrichts vielfältige Ressourcen aus unterschiedlichen Sprachregistern von den Lernenden genutzt werden können (Moschkovich, 2018). Elaboriertere Sprache im Diskurs muss dabei nicht notwendigerweise mit einem größeren Lernerfolg einhergehen. Auch Erklärungen oder Beschreibungen, die eher alltagssprachlich und somit weniger explizit und komplex sind, können große Auswirkungen auf den Lernerfolg haben. Deshalb betont Moschkovich (2018) in Übereinstimmung mit der Darstellung der graduellen Unterschiede der Register (Meyer & Prediger, 2012), dass eine dichotome Betrachtung von Bildungssprache einerseits und Alltagssprache andererseits wenig zielführend sei. Ebenso wenig zielführend ist es, die Register der Fachsprache und der Bildungssprache einfach zusammenzufassen – auch wenn das aus linguistischer Perspektive

naheliegen mag. Meyer und Tiedemann (2017) plädieren dafür, beide Begriffe mit ihren differierenden Schwerpunktsetzungen in der didaktischen Diskussion zu nutzen:

> Wer „Bildungssprache“ sagt, hebt hervor, dass institutionelle Bildung über einzelne Fachsprachen hinweg mit einem spezifischen Sprachgebrauch verbunden ist. (…) Wer hingegen „Fachsprache“ sagt, der hebt den fachlichen Bezug des Sprachgebrauchs hervor. Denn abseits fächerübergreifender Überlegungen ist es nicht minder wichtig, dass in fachdidaktischen Diskussionen herausgearbeitet wird, welche ganz eigenen sprachlichere Anforderungen das jeweilige Fach an die Lernenden stellt. (S. 16)

Auch wenn die Abgrenzung der verschiedenen Register nicht immer leichtfällt, ist die Reflexion über Bildungssprache aus bildungssoziologischen und didaktischen Gründen von erheblicher Bedeutung. Bezugnehmend auf die in Kap. 4.2 dargestellten Rollen von Sprache ist die im Unterricht stark genutzte Bildungssprache sowohl Lernmedium dieses Unterrichts als auch – ungleich verteilte – Lernvoraussetzung.

> Während für bildungssprachlich benachteiligte Lernenden kaum Differenzen zwischen Fach- und Bildungssprache bestehen, machen Lehrkräfte oft einen entscheidenden Unterschied: Fachsprachliche Sprachmittel werden im Unterricht meist explizit eingeführt, die bildungssprachlichen dagegen oft nicht. (Meyer & Prediger, 2012, S. 5)

Auf diese Weise verpassen Lehrkräfte ein großes Handlungsfeld zur Reduktion sozialer Ungleichheit. Denn nur wenn die Bildungssprache selbst zum unterrichtlichen Lerngegenstand wird, kann die Gefahr unbemerkter Benachteiligungen verringert werden bzw. schon bemerkbaren Benachteiligungen entgegengewirkt werden (Gogolin, 2009). Hierzu bedarf es eines „kognitiv aktivierenden, unterstützenden und die Divergenz alltäglicher und bildungssprachlicher Redemittel explizit thematisierenden Unterrichts“ (Gogolin, 2009, S. 227). Um die Divergenz im Blick zu behalten, ist auch ein Bewusstsein für sprachliche Hürden in der Bildungssprache notwendig.

Da sich die Bildungssprache wie die Fachsprache wesentlich durch eine konzeptionelle Schriftlichkeit auszeichnet, werden als linguistische Merkmale auch v. a. solche Aspekte benannt, die der Schriftlichkeit zuzuordnen sind. Dazu gehören z.B. Prä- und Suffixe, nominale Zusammensetzungen, normierte Fachbegriffe, komplexe Satzgefüge, unpersönliche Konstruktionen (z.B. Passivsätze und man-Sätze), Steigerungspartikel, Funktionsverbgefüge etc. (Meyer & Tiedemann, 2017). „Angesichts dieser Merkmale kann festgestellt werden, dass die Bildungssprache als sprachliches Zielregister der Institution Schule strukturell vergleichsweise komplex ist“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 16). Es ist also mehr als verständlich, dass Kinder mit einigen dieser sprachlichen Hürden Probleme haben können und

diese für sie immer wiederkehrende Fehlerquellen darstellen. Abshagen (2015, S. 16) und Bastians (2018, S. 51) sprechen hier von „Stolpersteinen“ der deutschen Sprache und fassen diese in Übersichten mit anschaulichen Beispielen zusammen (Abb. 18):

	Wortebene	**Bsp.**
Komposita	Zusammensetzungen Nomen + Nomen Verb + Nomen Adjektiv + Nomen Präposition + Nomen/Verb Verb + Präposition	*Schulhof* *Gruppe – n – reisen* *Haushalt – s – geld* *Wartezimmer* *Kurzmeldung* *Nebenkosten/Vorkommen* *überlaufen, abhängen von*
Nominalisierung	von Verben von Adjektiven	*das Betreten* *das Herausragende*
Adjektive		*missverständlich, hilflos*
Polyseme	Mehrdeutigkeit („Teekesselchen“)	*die Mutter (Familie, Technik)*
Abkürzungen		*DIN A, z. B., u. a., bzw., usw.*
	Satzebene	
Vorgangspassiv		*Das Gesetz wurde beschlossen.*
Zustandspassiv		*Das Gesetz ist beschlossen.*
Passiv + Modalverb		*Das Gebäude musste erschaffen werden.*
Passiv – Ersatzformen		*Das Fenster lässt sich nach außen öffnen.* *Zuerst löst man die Schrauben.* *Die Miete ist bezahlbar.* *der zu lernende Stoff* *Die Aufgabe ist auszurechnen.*
Satzgefüge	ohne Konjunktion	*Ist das Tier in den Winterschlaf gefallen, sinkt die Körpertemperatur.*
	(vorangestellte) Finalsätze	*Um gute Ergebnisse zu erzielen, muss der Text genau gelesen werden.*
mehrgliedrige Attribute		*der in der Zeitung wegen seiner Balltechnik besonders gelobte Mittelstürmer*
Funktions-verbgefüge	Nomen + Verb	*in der Lage sein, zur Folge haben, in Betrieb sein*
	Textebene	
Pronomen		*Der elektrische Strom … Wir erkennen **ihn** daran, dass **er** unterschiedliche Wirkungen hervorruft.*
Pronominal-adverbien		*deswegen, sonst, zudem, hingegen, trotzdem, gleichfalls, zwar, dabei*

Abbildung 18: ‚Stolpersteine‘ der Bildungssprache (entnommen aus Bastians, 2018, S. 51)

Bei Abshagen (2015) lassen sich Beispiele aus dem mathematischen Kontext nachlesen. Hier kommen beispielsweise fachliche Redewendungen wie „den Mittelwert bilden“ oder „eine Gleichung nach x auflösen“ (S. 16) hinzu sowie Fachsymbole und Formelzeichen. Bastians (2018) formuliert aufbauend auf den Stolpersteinen Kriterien zur Textoptimierung, die bei der Entwicklung von Kriterien schülergerechter auditiver Medien (Kap. 3.4.1) von Bedeutung sein werden.

Werden diese Stolpersteine nicht thematisiert, wird riskiert, dass die Lernenden wichtige Fragen oder Informationen nicht verstehen und somit Aufgaben nicht bewältigen können. Interessant ist hier, dass einige dieser sprachlichen Hürden explizit als Bestandteile

konzeptioneller Schriftlichkeit und somit der Bildungssprache aufgelistet werden wie z.B. Präfixverben, Komposita, normierte Fachbegriffe oder unpersönliche Konstruktionen (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 16). In Übereinstimmung mit Wagenschein (1968) kann also argumentiert werden, dass insbesondere während der Erarbeitung eines neuen Themengebietes der sprachliche Schwerpunkt auf der Alltagssprache als Sprache des Verstehens liegen sollte. Nur so können sich die Lernenden den neuen Sachverhalt von ihrem aktuellen Wissensstand aus aneignen und den verinnerlichten Sachverhalt später mit der Fachsprache in Verbindung bringen (Meyer & Tiedemann, 2017).

4.3.5 Schulsprache

Neben der Bildungssprache bringt Feilke (2013) weiterhin den Begriff der Schulsprache in die Diskussion um die Sprachenregister ein und betont die Wichtigkeit einer klaren Abgrenzung. Die Bildungssprache definiert auch er über ihre allgemein bildungsrelevanten Sprachfunktionen und -formen, ihre komplexe Form und Präzision. Sie ist für fachdidaktische Zwecke im Unterricht geeignet oder sogar notwendig, aber keinesfalls nur auf schulische Kontexte beschränkt. Bildungssprache lässt sich in allen akademischen Institutionen, der Wirtschaft, der Rechtsprechung oder in Nachrichtendiensten finden. Die Schulsprache hingegen wird nach Feilke (2013) ausschließlich in der Institution Schule verwendet und wird deshalb auch über diesen Gebrauchskontext bestimmt. In der Schulsprache findet man z.B. sprachliche Praktiken und Normen, die bestimmten institutionellen Zwecken verpflichtet sind.

Meyer und Tiedemann beziehen diese Definition auf den Mathematikunterricht und stellen heraus, dass die meisten sprachlichen Praktiken des Mathematikunterrichts außerhalb der Institution kaum vorkommen. Die Beschreibung einer Folge von bereits gelösten Aufgaben beispielsweise ist zum Üben oder Besprechen bzw. Vergleichen der Aufgabe gedacht und stellt den Lernenden vor eine fiktive Anforderung, die ihm vielleicht nicht sinnvoll erscheinen mag:

> [Der Lernende] soll so tun, als verstehe die Lehrperson die Konstruktion nicht oder als würden die Mitschüler, die dieselben Aufgaben gelöst haben, Aufgaben nicht kennen. Mit anderen Worten: In der Schule wird von den Lernenden sprachliches Verhalten erwartet, das außerhalb der Institution kommunikativ vollkommen unangemessen sein kann, das innerhalb der Institution aber häufig entscheidend ist für die Einschätzung der erbrachten Mathematikleistung. (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 17).

Die Schüler:innen erlernen also ein institutionell angemessenes Sprachverhalten, das sowohl ihrer Natur, als auch den außerinstitutionellen Konventionen widerspricht. Dieses Sprachverhalten wird dadurch zum schulischen Lerngegenstand. „Denn es kann nicht erwartet

werden, dass die Lernenden außerhalb der Schule einen Sprachgebrauch lernen, der außerhalb der Schule tendenziell unangemessen ist“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 17).

Die Schulsprache unterscheidet sich von der Bildungssprache weniger in ihrer sprachlichen Form als vielmehr in ihren Maximen und Normen. So ist z.B. jedem Kind klar, dass das Ergebnis einer Aufgabe nicht nur genannt, sondern auch stets begründet werden soll – selbst wenn weder Mitschüler:innen noch Lehrkraft das Ergebnis anzweifeln – oder dass alle Schritte eines Vorgehens exakt beschrieben werden sollen – auch wenn alle Zuhörer wissen, wie dieses Vorgehen abzulaufen hat. Durch das immerwährende Einfordern der Schulsprache sollen die Lernenden an die Bildungssprache herangeführt werden und sowohl die Produktion als auch die Rezeption ebendieser einüben. Feilke (2013, S. 117) bezeichnet die Schulsprache deshalb als ein „Instrument zur Erziehung zur Bildungssprache“.

4.3.6 Unterrichtsfachsprache

Doch auch wenn die Schulsprache die eingeforderte Sprache und die Bildungssprache das angestrebte Zielregister im Unterricht ist, müssen sie nicht notwendigerweise in der alltäglichen Unterrichtskommunikation gebräuchlich sein (Gogolin, 2009). Der tatsächliche Sprachgebrauch kann eher als eine Mischform angesehen werden.

> Mathematisches Wissen wird in einem gemischten System, einer oft durch Symbole und Ikone angereicherten *langue* [Hervorhebung im Original] kodiert und vermittelt. Dabei spielt das als Fachsprache der Mathematik bezeichnete Register eine zentrale Rolle, aber nicht die alleinige, da ja Lehrer und vor allem Schüler mathematische Sachverhalte auch in einer vom Standard der Fachsprache abweichenden Sprache ausdrücken. (Maier & Schweiger, 1999, S. 14f.)

Tiedemann (2015) führt deshalb zusätzlich den Begriff der Unterrichtsfachsprache ein. Damit erschafft sie kein weiteres Register, sondern beschreibt die im Unterricht tatsächlich verwendete Mischung der drei Hauptregister Alltags-, Bildungs- und Fachsprache, in der fachliche Kommunikation stattfindet. Es zeigt sich eine sprachliche Vielfalt, in der sowohl medial phonische als auch medial graphische Äußerungen eine Rolle spielen und in der je nach Situation sowohl Lernende als auch Lehrende mal eine konzeptionell mündliche und mal eine konzeptionell schriftliche Sprache gebrauchen, um über Mathematik zu sprechen oder zu schreiben (Meyer & Tiedemann, 2017). Das Lernen und Betreiben von Mathematik ist eine diskursive Aktivität, die in einer Reihe von Registern realisiert werden kann. So auch im Register der Alltagssprache, in der in „unvollständigen, vielleicht auch grammatisch fehlerhaften Sätzen gesprochen wird, Worte ungenau verwendet werden und die Sprechenden

auf etwas zeigen, um sich rasch und reibungslos verständlich zu machen“ (Tiedemann, 2015, S. 43).

Wie schon erwähnt spricht Wagenschein (1968, S. 102) von einer „Sprache des Verstandenen“, die am Ende des Lernprozesses steht sowie von der Alltagssprache oder der Muttersprache als „Sprache des Verstehens“. Er fordert sogar ein, Verstehensprozesse ganz gezielt in diesem Register zu verorten. Die Unterrichtsfachsprache kann als diese Sprache des Verstehens angesehen werden, in der sich zeigt, ob und wieviel von den Lernenden verstanden wurde. Dies begründet Leisen (2013) folgendermaßen:

> Sprache kann aber nicht exakter sein als das Denken und umgekehrt. **Die vom Lerner benutzte Sprache ist somit der am häufigsten benutzte Indikator zum Überprüfen des Verstehens. Dabei dürfen sich Lehrkräfte aber nicht vornehmlich an der korrekten Verwendung der Fachsprache** (also der Richtigkeit der Syntax) **orientieren, sondern müssen auch die Bedeutung** (also die Semantik) **im Blick haben** [Hervorhebung im Original] (vgl. das Beispiel zu ‚Kraft haben‘ und ‚Kraft ausüben‘). (S. 54)

Auch Meyer und Tiedemann betonen, dass in Situationen kognitiver Belastung fachsprachliche Formulierungen von Lernenden kaum zu erwarten sein können. „Vielmehr sollte (und muss vielleicht auch) an der Front des individuellen kognitiven Horizontes zur Entlastung auf bekannte Sprachmittel zurückgegriffen werden, ganz gleich welchem Register diese angehören“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 27f.). Deshalb muss ein Mathematikunterricht im Sinne Wagenscheins sich gerade in bedeutenden Phasen über weite Strecken durch die Verwendung der Alltagssprache auszeichnen. Dies muss sowohl in der Forschung, als auch in der Unterrichtsentwicklung berücksichtigt werden (Tiedemann, 2015).

Weiterhin relevant für die tatsächliche Unterrichtssprache ist der Ansatz des „sprachlichen Filters“ einer jeden Familie (Luckmann, 1979, S. 54f.). Luckmann hält fest, dass Kinder niemals *die* Sprache lernen, sondern stets nur eine Variante – und zwar die sprachliche Variante, die in ihrer Familie verwendet wird. Dieser Filter äußert sich dann auch in anderen Kontexten. In jeder konkreten Situation wird also nicht ‚die‘ Sprache verwendet, „sondern eine Variante, die gemäß den gelernten Situationsdefinitionen relevant ist“ (Tiedemann, 2015, S. 44). Für den Mathematikunterricht führt Tiedemann (2015) diesen Ansatz weiter. Sie bemerkt, dass die Lernenden dort nicht *die* Fachsprache lernen und sprechen, sondern auch hier nur eine gefilterte Variante. Diese Variante ist die von der Lerngruppe notwendigerweise als gemeinsame Sprache ausgehandelt, akzeptiert und wird aktiv verwendet.

> Lernende und Lehrende handeln situativ verbindliche Regeln für ihren sachlichen Gebrauch aus und legen damit fest, welche Sprache innerhalb ihrer Gruppe aktuell als angemessen erachtet wird, um sich über das mathematische Unterrichtsthema auszutauschen. (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 28)

Diese gefilterte Variante entspricht Tiedemanns (2015) Konzept der Unterrichtsfachsprache. Auch Götze (2017) spricht in ähnlichem Kontext von einer weiteren Klasse an Begriffen, die sich von reinen Fachbegriffen unterscheiden: gemeinsam erarbeitete „fach- und aufgabenbezogene sprachliche Mittel“ (S. 17). Diese dienen der Verständigung und helfen den Lernenden, Entdeckungen, Strategien oder Strukturen in Aufgaben zu beschreiben und sich mit anderen über sie auszutauschen. Gemeint sind mit diesen sprachlichen Mitteln nicht nur Begriffe und Einzelwörter, sondern auch „Satzphrasen und Formulierungshilfen, um das Entdeckte in ganzen und möglichst eindeutigen Sätzen formulieren zu können“ (Götze, 2015, S. 17). Sie müssen nicht wie Fachbegriffe mit einer mathematisch inhaltlichen Vorstellung gefüllt werden und haben für den Mathematikunterricht der weiterführenden Schulen kaum noch Bedeutung. Sie sind aber unverzichtbar für die Ausbildung der allgemeinen mathematischen Kompetenzen in der Grundschule. Und sie sind notwendig, um „auf einer für alle Kinder verständlichen geteilten Sprachbasis über mathematische Muster und Strukturen in Aufgaben sprechen zu können“ (Götze, 2015, S. 17). Diese Ansicht lässt sich mit dem Konzept der Unterrichtsfachsprache gut vereinen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Sprache im Mathematikunterricht je nach Situation sowohl zwischen der medialen (schriftlichen und mündlichen) Umsetzung als auch zwischen den konzeptionellen Dimensionen von Schriftlichkeit und Mündlichkeit variieren kann. Außerdem fordert der Mathematikunterricht die Schulsprache explizit ein, enthält aber generell alle drei Sprachregister (Alltags-, Bildungs- und Fachsprache) sowie die tatsächlich verwendete Unterrichtskommunikation als gemeinsam ausgehandelte Variation aus allen Registern. Dieses soziolinguistisch geprägte, weite Verständnis von Sprache im schulischen Kontext ist grundlegend, um die „Sprachenvielfalt im Mathematikunterricht zu analysieren und auf dieser Grundlage für didaktische Analyse- und Planungsprozesse zugänglich zu machen“ (Meyer und Tiedemann, 2017, S. 28). Wenn im Folgenden von der fachbezogenen Bildungssprache gesprochen und diese in den empirischen Daten untersucht wird, tritt also auch die Perspektive der Unterrichtsfachsprache in den Blickpunkt – wohlwissend, dass in der Unterrichtsfachsprache auch das alltagssprachliche Register seinen legitimen und sinnvollen Platz und Nutzen haben kann.

4.4 Sprachsensibler Mathematikunterricht

Nachdem die Rolle, die Funktionen sowie die verschiedenen Register von Sprache im Mathematikunterricht dargestellt wurden, sollen im Folgenden grundsätzliche Aspekte sprachsensiblen Mathematikunterrichts thematisiert werden, der durch den bewussten Umgang mit Sprache als Lernmedium beim Lehren und Lernen im Fach gekennzeichnet ist (Leisen, 2013). Darauf aufbauend werden konkrete Ansätze für die Förderung sprachlicher Kompetenzen im Fach aufgezeigt, die gleichzeitig auch stets die mathematischen Inhalte und das Verständnis unterstützen sollen.

Götze und Prediger (2017) fordern Sprachbildung als langfristige Entwicklungsaufgabe, denn sprachlich Schwache schneiden dort am schwächsten ab, wo inhaltliches Verständnis der mathematischen Konzepte erfordert wird (nicht nur bei Textaufgaben), was die kognitive Funktion von Sprache umso mehr in den Vordergrund rückt. Dies liegt vor allem daran, dass Mathematikunterricht nicht „spracharm" ist, sondern hohe sprachliche Anforderungen an die Kinder stellt (Götze, 2015, S. 5). Das Lernen von Mathematik erfordert eine geteilte Sprachbasis als Hilfe beim Beschreiben und Begründen, welche die Lernenden nicht von sich aus in den Unterricht mitbringen. Dies gilt nicht nur für Lernende mit Migrationshintergrund und/oder Sprachförderbedarf, denn

> (fach)unterrichtlich anspruchsvolle kognitive Leistungen können von den Schülerinnen und Schülern nur erbracht werden, wenn sie über die entsprechenden sprachlichen Mittel verfügen, die erforderlich sind, um sich aktiv am unterrichtlichen Diskurs auf einer Anspruchsebene zu beteiligen, die für das Sachfach üblich ist. (Thürmann, 2010, 142f.)[15]

Defizite im sprachlichen Bereich können dementsprechend dazu führen, dass auch fachliche Lernziele nicht erreicht werden. Ziel muss also sein, die Entwicklung von Bildungs-, und Fachsprache zu unterstützen und fachbezogene sprachliche Mittel zu fördern (z.B. durch sprachliche Vorbilder). Dies bedeutet nicht, dass im Mathematikunterricht auch Rechtschreib- oder Grammatikunterricht stattfinden soll, sondern:

> Es geht darum, bei den Kindern die fachbezogenen sprachlichen Mittel zu fördern, damit sie sich auf einer geteilten Sprachbasis über ihre Entdeckungen, Strategien oder auch Vorgehensweisen mündlich wie auch schriftlich austauschen können. (Götze, 2015, S. 5)

Sprachsensibler Mathematikunterricht versucht also, die Lernenden zu befähigen, den sprachlichen Input, dem sie ausgesetzt sind und über den das mathematische Wissen vermittelt

[15] Aus diesem Grund soll für die empirischen Studie bei der Auswahl der Untersuchungsgruppe auch kein Fokus auf Kinder mit besonderem Sprachförderbedarf gelegt werden, sondern eine heterogene Gruppe untersucht werden.

wird, zu verarbeiten und nutzen zu können. Dazu kann zum einen der sprachliche Input selbst an die Bedürfnisse und den Sprachstand der Lerngruppe angepasst werden, denn aufgenommen wird nur, was die Aufmerksamkeit erregt, dem Spracherwerbsstand der Lernenden entspricht und zu ihrem Vorwissen passt (Leisen, 2013, S. 56). Zum anderen können den Lernenden sprachliche Unterstützungsmaßnahmen an die Hand gegeben werden. Dass die Anpassung sprachlicher Inputs sowie sprachliche Unterstützungsmaßnahmen sinnvolle Vorschläge für die Förderung sprachlicher Kompetenzen im Fach darstellen, konnte in mehreren Wirksamkeitsstudien zu sprachsensiblem Mathematikunterricht nachgewiesen werden (vgl. dazu den Forschungsüberblick in Prediger, 2022):

> Durch die Anregung reichhaltiger Sprachhandlungen und den Aufbau bedeutungsbezogener Denksprache erwerben die Lernenden ein tieferes und flexibleres fachlich-konzeptuelles Verständnis. Und dies gilt nicht nur für Lernende mit schwacher Bildungssprache: Studien zeigen, dass auch Lernende mit starken bildungssprachlichen Kompetenzen in ihren fachlichen Lernzuwächsen von einem sprachbildenden Fachunterricht profitieren. … Der Aufwand für sprachbildenden Fachunterricht lohnt sich also, und zwar für alle Lernenden. (S. 12)

Dabei wird im eingangs beschriebenen Sprachkontinuum von Alltags-, Bildungs- und Fachsprache von unten bei den Lernenden angesetzt und eine kontinuierliche Anreicherung der alltagssprachlichen durch bildungs- und fachsprachliche Kompetenzen sowohl auf Wort- als auch auf Satzebene angestrebt (Götze, 2015).

4.4.1 Begriffsbestimmung

Wird in der Literatur teilweise noch von ‚Sprachförderung' gesprochen (z.B. Verboom, 2017), soll in dieser Arbeit der Begriff der ‚fachbezogenen Sprachbildung' bzw. die Entwicklung ebendieser innerhalb eines sprachsensiblen Mathematikunterrichts genutzt werden. Sprachförderung meint im Hinblick auf besondere Förderbedarfe die Förderung allgemeiner sprachlicher Fähigkeiten (z.B. Wortschatz oder Grammatik) durch „gezielte Fördermaßnahmen, die sich insbesondere an Kinder und Jugendliche mit besonderen Schwierigkeiten oder Entwicklungsverzögerungen richten, die diagnostisch ermittelt wurden" (Schneider et al., 2012, S. 23). Sprachliche Bildung hingegen bezeichnet systematisch angeregte und gezielte Sprachentwicklungsprozesse für die gesamte Lerngruppe, in denen sprachliche Förderstrategien in sprachlich bildende Kontexte integriert werden und ist allgemeine Aufgabe in allen Fächern (Schneider et al., 2012). Fachbezogene sprachliche Bildung innerhalb eines sprachsensiblen Mathematikunterrichts „bleibt in diesem Sinne primär den fachlichen Anliegen verpflichtet und lässt die Sprachförderung nicht zum Selbstzweck

werden“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 81). Diese Sprachbildung betont vielmehr die mathematikbezogene Sprache als zentrales Lernmedium. Gerade durch ihre Nutzung kann weitergehendes mathematisches Wissen konstruiert werden.

> So lernen im Fachunterricht Lerner die Inhalte des Fachs sowohl durch als auch mit Sprache; dabei erwerben sie Kompetenzen auf der sprachlichen, fachlichen und kommunikativen Ebene. Sprache wird somit sowohl benutzt als auch gleichzeitig neu erworben und zugleich ständig weiterentwickelt. (Leisen, 2013, S. 11)

Auch Abshagen (2019, S. 10) spricht von „Sprachbildung im Mathematikunterricht“ bzw, einem „sprachsensiblen Fachunterricht“ mit „sprachförderlichen Methoden“, durch die auch im Fachunterricht über sprachliche Hürden hinweggeholfen werden kann ohne dass sprachsensibler Unterricht dadurch zum Sprachunterricht wird. Die Autorin betont, dass schon kleine Maßnahmen wie Wortlisten allen Lernenden – auch den sprachlich kompetenten Schüler:innen, denn auch diese müssen die mathematische Fachsprache lernen – den Zugang zur Mathematik erleichtern können, ohne dass fachliche Inhalte vereinfacht werden. Von einem sprachsensiblen Unterricht profitieren alle Kinder, denn auch sprachlich kompetente Kinder müssen die mathematische Fachsprache lernen (Abshagen, 2019). Meyer und Tiedemann (2017) halten deshalb zusammenfassend fest, dass es sinnvoll ist, weniger von „Sprachförderung im Mathematikunterricht“ und mehr von einem „sprachsensiblen Mathematikunterricht“ zu sprechen, da die Sprache in diesem Sinne nie Selbstzweck wird, „sondern stets an ihren Nutzen für die fachliche Diskussion und Entwicklung gebunden bleibt“ (S. 82), jedoch in ihrer enormen Bedeutung für das fachliche Lernen gesehen wird.

4.4.2 Grundprinzipien des sprachsensiblen Mathematikunterrichts

Schon vor zwanzig Jahren formulierten Maier und Schweiger (1999) drei Aufgaben für den Gebrauch der Sprache durch Schüler:innen und Lehrkräfte im Rahmen der unterrichtlichen Kommunikation:

- das Verstehen von sprachlichen Äußerungen des Lehrers und der Mitschüler sowie von (schriftlichen) Texten (Sprachverstehen),
- das Hervorbringen eigener sprachlicher Äußerungen und Texte (Sprachproduktion) und
- das ‘Übersetzen’ von gesprochener Sprache in geschriebene und umgekehrt. (S.165)

Diese Aufgaben, die Sprache im Fach erfüllen können soll, können gleichzeitig als allgemeine Ziele für fachbezogene Sprachbildung gesehen werden. Es müssen gleichermaßen das Sprachverstehen, die Sprachproduktion und der Darstellungswechsel und das Übersetzen von gesprochener in geschriebene Sprache gefördert werden. Bochnik und Ufer (2017, S. 91)

schlagen in Bezug auf die Sprachproduktion Kommunikationsanlässe vor, die z.B. sprachliche Erklärungen und Argumentationen von Kindern einfordern. Hinsichtlich der Sprachrezeption fordern die Autor:innen einen reflektierten Sprachgebrauch der Lehrkraft und den bewussten Einsatz von Sprache als Sprachvorbild für die Lernenden (Kap. 4.4.4). Die Arbeit mit auditiven Medien kann in diesen Bereichen besonders im Hinblick auf die in Kapitel 2 dargestellte auditive Informationsverarbeitung einen Beitrag leisten.

Als Grundthesen oder Leitlinien sprachsensiblen Fachunterrichts zur individuellen Förderung von Lernenden formuliert Leisen (2013) die Folgenden:

- Die Lerner werden in fachlich authentische, aber bewältigbare Sprachsituationen gebracht.
- Die Sprachanforderungen liegen knapp über dem individuellen Sprachvermögen.
- Die Lerner erhalten so wenige Sprachhilfen wie möglich, aber so viele, wie individuell zum erfolgreichen Bewältigen der Sprachsituationen nötig. (S.6)

Er führt weiter an, dass sprachsensibler Fachunterricht fachlich anspruchsvoll ist und die für die Bildungssprache erforderlichen Denk- und Sprachfähigkeiten ausbildet. Dazu sollen beispielsweise fachtypische Sprachstrukturen gefestigt, geübt und trainiert werden, durch Sprechhilfen beim strukturierten und freien Sprechen ermutigt werden, fachliches Verstehen durch eine Vielfalt von Darstellungsformen unterstützt und das Hörverstehen trainiert werden (Leisen, 2013, S. 33).

Berg, Götze und Maske-Loock (2018) präzisieren diese Grundthesen und formulieren im Förderkommentar zum Zahlenbuch Prinzipien für den sprachsensiblen Mathematikunterricht mit unterrichtspraktischen Hinweisen:

- *Fachwortschatz aufbauen:* Aufbauend auf eigenen (Be-)Deutungen und Benennungen sollen die Vorkenntnisse der Lernenden aufgegriffen und erweitert werden. Dazu müssen die Redemittel und Fachbegriffe systematisch geplant und Materialien entsprechend aufbereitet werden. Auch Veranschaulichungen und Darstellungswechsel sowie das Ausschärfen des Begriffsverständnisses durch die Reflexion über Begriffe spielen eine wichtige Rolle. Durch „zwingende Kontexte“ (Motsch, 2017, S.125), die die Verwendung der angestrebten Zielstruktur notwendig machen, sollen die Lernenden zur häufigen Verwendung der Redemittel angeregt werden.
- *Sprachverständnis sichern:* Durch gezielte Fragen, Anschauungs- und Forschermittel und handelnde Erarbeitung kann Sprachverständnis gesichert und gestützt werden. Auch Hilfe zur Selbsthilfe (z.B. die selbstständige Nutzung des Wortspeichers) wird angeregt sowie der Umgang mit Mehrdeutigkeiten herausgefordert. Gleichzeitig soll durch wiederkehrende (sprachliche) Abläufe und möglichst kurze und eindeutige

Arbeitsaufträge, die entlang der Handlungsabfolge strukturiert sind, sprachliche Belastung reduziert werden. Im Hinblick auf die Nutzung von Radiosendungen spielt dies eine Rolle bei der Sequenzierung der Sendungen sowie der chronologischen Platzierung dieser Sequenzen (Kap. 3.4.2)

- *Mathematische Kommunikation fördern:* Durch das Setzen gezielter Impulse können tragfähige Formulierungen und die angestrebte Zielstruktur bewusst genutzt und oft wiederholt werden. Dazu braucht es vielfältige Kommunikationsanlässe wie Gespräche über das Gehörte, Fragen, die Präsentation von Ergebnissen, handlungsbegleitendes Sprechen mithilfe von Forschermitteln oder Anschauungsmaterial. Auch Körper und Gestik können in diesem Sinne als Anschauungsmaterial dienen, wobei jedoch weiterhin die Ablösung vom Konkreten angestrebt werden soll. Durch das Offenlegen sprachlicher Ziele kann verdeutlicht werden, „dass Mathematik nicht nur ausrechnen bedeutet, sondern die sprachliche Beschreibung mathematischer Phänomene ein wichtiger Bestandteil ist“ (Berg et al., 2018, S. 17). Vorgeschlagen werden hier Anregungen wie beispielsweise „Wie würde ein Mathematiker das sagen?“ oder „Wie sage ich es so, dass die anderen mich verstehen?“. Anregungen dieser Art lassen sich auch in den Radiosendungen finden (Kap. 5), weshalb diese auch als Anlass zur Förderung mathematischer Kommunikation genutzt werden können.

Des Weiteren wird aus ganzheitlicher Perspektive betont, dass die Einführung neuer Begriffe immer im Zusammenhang mit anderen (schon bekannten) Wörtern stattfinden soll, um die Vernetzung zu unterstützen:

> Eine gute Vernetzung des Wortes trägt dazu bei, dass es schnell und genau abgerufen werden kann. Zusätzlich ist es auch wichtig die Abrufhäufigkeit zu erhöhen: Je häufiger ein Wort laut ausgesprochen (nicht gedacht!) wird, umso besser gelingt der Abruf. (Berg et al., 2018, S. 23)

Diese Vernetzung muss – wenn nicht durch das Material gegeben – von der Lehrkraft je nach Sprach- und Lernstand der Lerngruppe angeregt und gesichert werden. An dieser Stelle lassen sich auch die Prinzipien und Ansätze der evidenzbasierten Strategietherapie ‚Wortschatzsammler‘ (Motsch et al., 2022) anführen, welche die Förderung von Strategien fokussieren und somit auch selbstständiges und natürlich differenziertes Lernen auf verschiedenen Niveaus zum Ziel haben. Grundlegend muss natürlich angemerkt werden, dass sprachsensibler Mathematikunterricht nicht neben dem Aufbau von Bildungs- und Fachsprache immer auch die Alltagssprache im Blick haben muss. Denn diese bildet die Basis für die anderen beiden Sprachregister (Ehlich, 1999).

Förderung mathematisch-fachsprachlicher Kompetenzen

Aufbauend auf den bereits beschriebenen Registern der Bildungs- und Fachsprache kann festgehalten werden, dass Kinder im Mathematikunterricht der Grundschule mathematisch-fachsprachliche Kompetenzen benötigen, die über das Wissen um mathematische Fachbegriffe hinausgehen:

> In Anknüpfung an die mathematische Fachsprache beziehen sich mathematisch-fachsprachliche Kompetenzen einerseits auf die Kenntnis des mathematischen Fachwortschatzes im Sinne definierter und mehrdeutiger Begriffe und andererseits auf den Umgang mit mathematikhaltigen Texten, die grammatikalische wie beispielsweise Passivkonstruktionen enthalten. Die mit der Kenntnis definierter mathematischer Fachbegriffe verbundene Wortbedeutung umfasst stets auch die Kenntnis des mathematischen Konzepts. … Auch hier gilt es, die zugrunde liegenden mathematischen Konzepte im Text zu erkennen und in ihrem Zusammenhang zu interpretieren. (Bochnik & Ufer, 2017, S. 83f.)

Mathematische Konzepte werden oft an einer mathematischen Aufgabe, einem Sachverhalt oder Gegenstand generiert, weshalb „fach- und aufgabenspezifische sprachliche Mittel zur Entwicklung einer gemeinsamen Sprachbasis“ (Götze, 2015, S. 12) notwendig werden. Eine trennscharfe Unterscheidung beider Bereiche ist dabei jedoch nicht immer möglich. Sprachliche Mittel werden benötigt, um über mathematische Entdeckungen oder Strategien bezüglich einer spezifischen Aufgabe sprechen zu können und dienen somit der Verständigung (Götze, 2015). Beispiele für aufgabenspezifische sprachliche Mittel einer der beiden dieser Arbeit zugrunde liegenden Einheiten wären die Begriffe „Pasch“ und „Straße“ oder Satzanfänge wie „Das Spiel ist unfair, weil…“, welche die Argumentationsstruktur unterstützen sollen.

Über diese aufgabenspezifischen sprachlichen Mittel hinaus machen bildungssprachliche Mittel das informelle und präzise Denken und Sprechen über fachliche Inhalte erst möglich und können so auch zu besseren Fachleistungen führen (Prediger, 2022). Es gilt also, sprachliche Lerngelegenheiten gut mit fachlichen Lerngelegenheiten zu verschränken. Dazu müssen zuerst einmal die sprachlichen Anforderungen ausdifferenziert werden (Götze, 2015). Diese gehen meist über das Beherrschen einzelner Fachtermini hinaus und stellen vielmehr anspruchsvolle Sprachkompetenzen dar, durch die ein echtes Verstehen, Behaupten, Interpretieren, Beschreiben, Begründen, Argumentieren, Überprüfen etc. erst möglich wird (Linneweber-Lammerskitten, 2012): „Kognitiv-linguistische und sozial-kommunikative Kompetenzen sind somit nicht als bloße Hilfskompetenzen außerhalb der mathematischen Kompetenz anzusehen, sondern als integrierter Bestandteil der letzteren“ (S. 563). Somit wird Sprache zu

Lernvoraussetzung und Lernergebnis und die Förderung der Sprachkompetenz als integrierter Bestandteil mathematischer Kompetenz im Sinne der *mathematical literacy* von PISA 2003 (Linneweber-Lammerskitten, 2012).

Mittlerweile ist dies auch auf nationaler Ebene gefordert. Die Kultusministerkonferenz 2019, S. 4f.) hat „Zehn Grundsätze für die Stärkung bildungssprachlicher Kompetenzen in der deutschen Sprache“ formuliert, die als Orientierung für die Arbeit und Bilanzierung der Maßnahmen der Länder dienen sollen. Hier wird beispielsweise festgehalten, dass sprachliche Bildung durchgängig und systematisch in allen Fächern und ab dem Elementarbereich erfolgen soll. Sie soll sich an wissenschaftlichen Erkenntnissen orientieren und durch evidenzbasierte Maßnahmen und Verfahren unterstützt sein. Außerdem wird die Rolle digitaler Medien als Herausforderung und Chance für die sprachliche Bildung und Sprachförderung betont. Zu diesem Aspekt soll auch die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten.

Diskursivität

Fachsprachliche Kompetenzen sind dabei nicht allein auf der Wort- und Satzebene zu begreifen, sondern müssen weiter gefasst und die analytisch wichtigere Diskursebene mit in den Blick genommen werden. So werden Sprachhandlungen zur relevanten Analyseeinheit sprachlicher Anforderungen (Prediger & Götze, 2017) und die Diskursivität zum Ziel (Leisen, 2013). Grundlegend ist hier der Ansatz, dass sich mathematische Bedeutung in Interaktionsprozessen zwischen mehreren Beteiligten entwickelt und verändert, wobei die Lernenden auf unterschiedliche Art an Lernprozessen teilnehmen und je nach Situation vielfältige Ressourcen aus unterschiedlichen Sprachregistern nutzen können (Moschkovich, 2018). Betrachtet man die Diskursebene genauer, so wird deutlich, dass auch hier die Komplexität von Sprache stärker zu berücksichtigen ist: „Research needs to move beyond oversimplified views of language. An emphasis on vocabulary and formal language limits the linguistic resources teachers and students can use in the classroom to learn mathematics with understanding” (Moschkovich, 2018, S. 39). Durch erfolgreiche Diskursivität kann dann die Reflexion und das Verstehen Anderer gefördert werden: “A high level of interaction between the teacher and students creates opportunities for children to reflect on their own thinking and on the reasoning of others” (Wood, 1998, S. 172). Es lohnt sich also einen ‚pushed output‘ (Swain, 1985) zu verfolgen, d.h. das Forcieren reichhaltiger Sprachproduktion als wesentlichen Beitrag zum Sprachlernen. Dabei können – bei vorhandenen Selfmonitoring-Prozessen der Schüler:innen – durch eigenes Schreiben Lücken erkannt, Sprachmittel erprobt und Sprecherfahrung reflektiert werden. Dieser pushed output kann mündlich oder schriftlich

erfolgen und in Hinblick auf die Arbeit mit auditiven Medien durch Höraufträge angeregt werden.

> Damit wird einerseits die (Fach-)Sprachentwicklung, aber andererseits und vor allem gleichzeitig auch die mathematische Entwicklung unterstützt. Denn der sprachliche Austausch im Plenum ist nicht nur eine Sprachübung, sondern vor allem die vertiefte Auseinandersetzung mit dem Gegenstand, da dort unterschiedliche Deutungen, Einsichten und Erklärungen aufeinandertreffen und produktiv zueinander in Beziehung gesetzt werden können. (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 87)

Um die o.g. Sprachhandlungen einzuüben, braucht es also mündlich diskursive Aushandlungsprozesse fachunterrichtlich relevanter Bedeutungen mit einer hohen Beteiligung der Lernenden, die zum konzeptuellen Lernen beitragen (Vollmer & Thürmann, 2013), denn „erst im gemeinschaftlichen Aushandeln und durch Zusammenhangserklärungen verschiebt sich der Erklärgegenstand von der prozeduralen zur konzeptuellen Ebene“ (Götze, 2019, S. 117). Diese sollen auch in verschiedenen Phasen der untersuchten Unterrichtseinheiten angeregt werden wie beispielsweise in der Präsentation und Diskussion der Gruppenergebnisse sowie in Phasen der Argumentation mit unterschiedlichen Zielsetzungen in den beiden Einheiten.

4.4.3 Begriffsbildungsprozesse

Für die Bestimmung von Bedingungen für den Erwerb und die Förderung fachspezifischer Bildungssprache sind Begriffsbildungsprozesse von Bedeutung. Begriffsbildung wird als ein Annäherungsprozess zwischen einem mathematischen Fachwort und seinem prototypischen Bezugsgegenstand aus der Lebenswelt verstanden (Schindler et al., 2019). Im Unterricht zu verwendende Begriffe sollen sachlich durchdrungen werden, denn darauf aufbauend folgt die Vorstellungsentwicklung eines Begriffs (Weigand, 2015). Vom Hofe (1995) beschreibt dazu die Notwendigkeit von Grundvorstellungen, die als „Elemente der Vermittlung (…) zwischen der Welt der Mathematik und der individuellen Begriffsbildung des Lernenden“ (S.98) dienen. Zum Aufbau von Grundvorstellungen sowie zur Vorstellungsentwicklung der Begriffe ist sowohl aktiv handelnde und sprachhandelnde Auseinandersetzung notwendig (Lambert, 2006) als auch unterrichtssprachliche Interaktionen und das Aushandeln von Bedeutungen (z.B. Heinze et al., 2011; Krummheuer & Fetzer, 2005; Klose, 2022). Die Bedeutung unterrichtssprachlicher Interaktionen zeigt sich darin, dass „auch material- und handlungsbasierte Lernaktivitäten ohne sprachbasierte Anleitung nicht unbedingt zu den erwünschten Lernprozessen führen“ (Heinze et al., 2011, S. 24). Denn Wortschatz ist „nicht

erlernbar, sondern nur erwerbbar“ (Leisen, 2013, S. 184). Begriffe müssen also in der Anwendung und im fachlichen Zusammenhang erworben werden – und das kontinuierlich, denn „Begriffe werden über die Schuljahre hinweg zunehmend spezifischer gefüllt“ (Götze, 2015, S.20). Auch Entdeckungs-und Begründungsprozesse tragen zur Begriffsbildung bei (Mayer, 2015). Diese können z.B. durch das diskursive Bearbeiten widersprüchlicher Situationen angeregt werden. Auf diese Weise kann ein Begriff bereits ausgebildet werden, bevor das eigentliche Fachwort dazu verwendet wird. Dies passt zur Beschreibung von Maier und Schweiger (1999), welche die Verwendung des Fachwortes als Endstufe des Abstraktionsprozesses bezeichnen. In Bezug auf diese Abstraktionsprozesse betonten Nührenbörger und Schwarzkopf (2010b), dass Kinder beim Mathematiklernen nicht bei ergebnisorientierten konkreten Sichtweisen stehen bleiben, sondern durch Abstraktionsprozesse zu einem strukturell reichhaltigen Verständnis von mathematischen Konzepten kommen sollen. Hier spielen mentale Vorstellungen bzw. Grundvorstellungen eine entscheidende Rolle. Diese entstehen als Sinnkonstruktion für einen Begriff durch Anknüpfung an bekannte Sach- oder Handlungszusammenhänge und zwar durch Handlungen mit Begriffen in verschiedenen Darstellungsformen und Umweltsituationen (Weigand, 2015). Da es bei diesen Prozessen um die Versprachlichung allgemeiner Zusammenhänge geht, werden Sprachhandlungen wie Beschreiben, Erklären und Begründen sowie sprachliche Kompetenzen zur Abstraktion und Dekontextualisierung notwendig (z.B. Prediger, 2013; Götze, 2019). Die für die Sprachhandlung des Erklärens benötigte Sprache ist bspw. geprägt von einer hohen Informations- und Fachwortdichte sowie von Dekontextualisierung (Maier & Schweiger, 1999), wobei beim mündlichen Erklären die Dekontextualisierung teilweise durch deiktische Zeigegesten genutzt werden, um sprachliche Unsicherheiten auszugleichen.

Untersuchungen von Haag et al. (2013) zur Frage, in welchen sprachlichen Bereichen sich Lernende mit der Familiensprache Deutsch bzw. anderen Sprachen in Bezug auf Kompetenzen in der mathematikspezifischen Fachsprache unterscheiden, haben gezeigt, dass es bezüglich des spezifischen mathematischen Fachwortschatzes keinen signifikanten Unterschied gibt. Schindler et al. (2019) vermuten, dass dies daran liegt, dass Fachwörter im Unterricht von allen Lernenden gelernt werden müssen. In jedem Fall sollte es oberstes Anliegen der Lehrkräfte sein, mathematikspezifische Fachsprache im Unterrichtsgeschehen anzubieten und die Anwendung zu unterstützen. Dies muss nach Götze (2015) kontinuierlich geschehen, damit der Begriff zunehmend spezifischer gefüllt werden kann.

Schon bevor vollständiges Begriffsverständnis einsetzt kann eine neue Wortform durch schnelle Zuordnung zu einer vorläufigen, noch unvollständigen Wortbedeutung abgespeichert

werden. Dieser Prozess wird als Fast Mapping bezeichnet (Haun & Rakoczy, 2012). Oftmals ist es dabei schon ausreichend, wenn ein Wort ein bis zweimal gehört wird, um in das mentale Lexikon aufgenommen zu werden (Motsch et al., 2022). Für diese schnelle Bedeutungszuordnung benutzen Kinder implizit bestimmte Beschränkungen, sogenannte „Constraints" (Meibauer & Rothweiler, 1999). Durch diese Beschränkungen können sie die Vielzahl an möglichen Bedeutungen für ein Wort reduzieren und den semantischen Gehalt einer Aussage (re-)konstruieren. Dies kann dazu führen, dass im Laufe des frühen Wortschatzerwerbs häufig Über- und Unterdehnungen entstehen. Gleichzeitig kann dadurch jedoch der Wortschatz vergleichsweise schnell wachsen (Kannengieser, 2019). Diese vorerst noch unvollständigen Einträge im mentalen Lexikon können dann im Laufe des lexikalischen Erwerbs durch Slow Mapping weiter ausdifferenziert und gefestigt werden (Kannengieser, 2019). Durch wiederholte Konfrontation mit dem Wort und seinem Referenten kann das Kind Informationen ergänzen und vervollständigen (Motsch et al., 2022). Slow-Mapping-Prozesse sind also das Ziel von Anregungen zur Begriffsbildung und sollen in der vorliegenden Studie durch den Einsatz auditiver Medien unterstützt werden.

Dabei ist weiterhin wichtig, Begriffe nach ihrer Bedeutung zu unterscheiden. Weigand (2015) nennt hier:

- Leitbegriffe, die sich über den gesamten Mathematikunterricht hinziehen und langfristig gelernt werden müssen,
- Schlüsselbegriffe, die eine Unterrichtssequenz strukturieren und mittelfristig gelernt werden müssen sowie
- Standardbegriffe, die sich kurzfristig im Rahmen einer Stundeneinheit lernen lassen.

Diese Begriffe können im Unterricht nicht einfach von außen an die Lernenden herangetragen und so eingeführt werden. Sie müssen über aktive Auseinandersetzungen mit den Phänomenen auf sprachlicher und handelnder Ebene gewonnen werden (Franke, 2007, S. 111). Indem Begriffe zu Handlungsgegenständen werden, können sie gefestigt und im fortlaufenden Begriffsbildungsprozess stetig weiterentwickelt und mit anderen Begriffen verknüpft werden (Maier & Schweiger, 1999, S. 68). Prozesse konstruktiver Auseinandersetzungen sind keine Selbstläufer, sondern müssen durch Anregungen angestoßen werden. Hierzu lassen sich – wie Franke zusammenfassend darstellt (2007, S. 106–111, siehe auch Weigand, 2015, S. 268) – drei unterschiedliche Arten des Begriffserwerbs aufführen:

- *Begriffserwerb durch Spezifizieren aus einem Oberbegriff*: Das Wissen über einen bereits bekannten Oberbegriff soll durch einen neu zu lernenden Unterbegriff erweitert werden. Ein spezifisches Merkmal charakterisiert den neuen Begriff und sondert ihn

von anderen Elementen der Grundmenge aus. Beispielsweise wird die Realdefinition (spezifisches Merkmal) eines Rechtecks (Unterbegriff) dieses von anderen Vertretern der Grundmenge aller Vierecke (Oberbegriff) aussondern. Die Entscheidung über die Aussonderung kann allein durch visuelle Wahrnehmung getroffen werden oder aber auch durch Untersuchungsverfahren (wie Messen oder Falten) begründet werden. Problematisch an diesem Weg ist die Tatsache, dass der neue Begriff nur durch eine verbale Beschreibung charakterisiert wird, welche Begriffswissen verlangt, das bei Grundschülern nicht unbedingt vorausgesetzt werden kann.

- *Begriffserwerb durch Abstrahieren:* Im Sinne einer Klassenbildung sollen Objekte entweder nach bestimmten Merkmalen sortiert werden (von der Lehrkraft vorgegebene oder von den Kindern selbstentdeckte Merkmale) oder als Beispiele bzw. Gegenbeispiele für einen Prototypen identifiziert werden. Holland (2007) ergänzt dazu, dass die Abstraktion für den Erwerb von Begriffen des täglichen Lebens eine große Rolle spielt, im Geometrieunterricht jedoch nur Beispiele aus der Raumgeometrie zu nennen sind. Deshalb wird diese Art des Begriffserwerbs in der vorliegenden Lernumgebung zu Vierecken (d.h. ebenen Figuren) nicht fokussiert.
- *Konstruktiver Begriffserwerb:* Als operatives Lehren von Begriffen werden hier alle Tätigkeiten zum Herstellen und Produzieren von Repräsentanten des Begriffs vorgeschlagen. Dazu gehören neben dem geometrischen Zeichnen auch Tätigkeiten wie Legen, Bauen, Falten etc., durch welche die Kinder neben prozeduralem Wissen auch Sachwissen erwerben (z.B., dass Spiegelbilder deckungsgleich sind). Außerdem kann der erzeugte Repräsentant als Vorstellungsbild des geometrischen Begriffs eingeprägt werden und bei verbal formulierten Ergebnissen lassen sich Ansätze genetischer Definitionen finden.

In der Praxis werden meist mehrere Wege kombiniert: Begriffsbildung kann beim Problemlösen stattfinden, mit Anwendung verbunden oder als Vernetzung mit anderen Begriffen geplant werden (Franke, 2007). In der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* beispielsweise sowie in der zugehörigen Lernumgebung wird der *Begriffserwerb durch Spezifizieren aus einem Oberbegriff* mit dem *konstruktiven Begriffserwerb* kombiniert. Von dem Oberbegriff *Viereck* ausgehend werden die Unterbegriffe – die spezifischen Vierecke – nacheinander herausspezifiziert. Dabei werden die verschiedenen Vierecke durch operative Tätigkeiten untersucht und konstruiert, sodass die Begriffe durch die aktive Auseinandersetzung gewonnen werden können.

4.4.4 Ansätze für die Förderung sprachlicher Kompetenzen

Grundlegend für die Förderung sprachlicher Kompetenzen ist der Ansatz, dass fachliche Teilaspekte, Sprachhandlungen und Sprachmittel immer zusammen gedacht werden müssen (Götze, 2019). Sprachmittel wurden eingangs schon thematisiert. Sprachhandlungen können beispielsweise das Erläutern von Rechenwegen, das Erklären von Bedeutungen (mathematische Konzepte und Operationen) oder das Beschreiben allgemeiner Zusammenhänge sein (Prediger & Götze, 2017). Den Zusammenhang von fachlichen Teilzielen, Sprachhandlungen und Sprachmitteln, die langfristig gelernt werden sollen, stellen Prediger und Götze (2017) anschaulich dar. Sie unterscheiden dabei zwischen sequenzierenden und integrierenden Sprachhandlungen sowie zwischen formalbezogenen und bedeutungsbezogenen Sprachmitteln. Der tatsächliche und individuelle Gebrauch der Sprachmittel kann dann mithilfe der Spurenanalyse untersucht werden (Pöhler, 2018). In dem dreischrittigen Verfahren der Spurenanalyse werden zuerst alle möglichen Sprachmittel inventarisiert, dann die angebotenen und verwendeten Sprachmittel identifiziert, um dann in einem letzten Schritt die Initiative zur Sprachmittelverwendung zu identifizieren (kam die Initiative vom Lernenden, von einer Lehrkraft oder durch ein Material?). Aspekte der Spurenanalyse werden auch in den Detailanalysen der unterrichtlichen Interaktionsprozesse der vorliegenden empirischen Studie relevant (Kap. 8), um die genutzten Sprachhandlungen und Sprachmittel genauer zu untersuchen – immer im Zusammenhang mit den fachlichen Teilaspekten. Denn genau dies macht den didaktischen Kern sprachsensiblen Fachunterrichts aus: „Fachlernen und Sprachlernen bedingen sich gegenseitig und sind so eng miteinander verknüpft, dass das eine nicht ohne das andere auskommt“ (Leisen, 2013, S. 29).

Dualer Lernpfad

Oft impliziert die Fokussierung mathematischer Zusammenhänge also auch eine Förderung sowohl konzeptueller als auch lexikalischer Lernendenressourcen (Götze, 2019). Dazu hat Pöhler (2018; am Beispiel der Prozente) den dualen Lernpfad entwickelt, der das konzeptuell-mathematische Lernen mit dem sprachlich lexikalischen Lernen vereint. Mit dem konzeptuellen Lernpfad beschreibt die Autorin Wege zu mathematischen Vorstellungen in einem x-stufigen und intendierten konzeptuellen Lernpfad. Demgegenüber beschreibt sie mit dem lexikalischen Lernpfad Wege zum gestuften Sprachschatz als einen x-stufigen und intendierten lexikalischen Lernpfad. Die intendierten Lernpfade stellen eine aus theoretischer Perspektive hergeleitete hypothetisch sequenzierte Lernentwicklung dar, die vor dem

Hintergrund fachlicher und fachdidaktischer Analysen getroffen wird. Sie ist deshalb nicht mit dem tatsächlichen, individuellen Lernpfad gleichzusetzen. Hat man jedoch den intendierten Lernpfad bestimmt, kann man im Vergleich dazu auch den individuellen Lernpfad und damit die Lernentwicklung eines Kindes nachvollziehbar beschreiben. Innerhalb eines Lernpfades sind immer Vor- und Rückschritte sowie Sprünge möglich. In jedem Fall aber steigen die Anforderungen an die sprachlichen Kompetenzen beim Voranschreiten. Die beiden Lernpfade können durch strukturbasierte Scaffoldingelemente verknüpft werden. Bei Pöhler (2018) sind dies die Prozentstreifen mit wechselnden Funktionen. In der vorliegenden Untersuchung sollen verschiedene im Folgenden vorgestellte Scaffoldingelemente wie der Wortspeicher und die Audiosequenzen in Verbindung mit Höraufträgen genutzt werden, um beide Lernpfade zu unterstützen und zu verknüpfen. Es werden beispielsweise Eigenschaften von Vierecken erarbeitet (konzeptioneller Lernpfad) und die sprachliche Beschreibung geübt (lexikalischer Lernpfad), wodurch sich der duale Lernpfad ergibt.

In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass nur wenige Schüler:innen auch im konzeptuellen Lernpfad voranschreiten können, wenn die Förderung sprachlicher Ressourcen ausbleibt (Götze, 2019, Wessel, 2015). Quantitative Analysen zeigen hingegen, dass Lernende stark von der Förderung im dualen Lernpfad profitieren – selbst nach einer Förderung von nur vier Unterrichtsstunden zeigen sich in einer Studie zum schriftlichen Erklären (Götze, 2019) beachtliche positive Effekte bei mehr als einem Drittel der Kinder. Deshalb kann eine parallele Förderung beider Lernpfade als fundamental für viele mathematische Lerninhalte betrachtet werden (Pöhler, 2018) und auch die beiden vierstündigen Unterrichtseinheiten der vorliegenden Studie, die im Sinne des dualen Lernpfades konzeptuelles mit lexikalischem Lernen verknüpfen, können als eine erfolgsversprechende Förderungsmöglichkeit angesehen werden. Zur Förderung lexikalischer Kompetenzen wie der Sprachhandlungen sowie der dazu notwendigen Sprachmittel im Lernpfad wird gängigerweise der wissenschaftlich evaluierte Ansatz des Scaffolding (Gibbons, 2002) herangezogen, der im Folgenden näher betrachtet werden soll. Zuvor soll die Förderung sprachlicher Kompetenzen jedoch aus der Perspektive der Struktur- bzw. Strategieebene betrachtet werden.

Mathematics Register Acquisition Model

Ein weiterer Ansatz im Bereich der Sprachbildung ist das *Mathematics Register Acquisition Model* (MRA-model), welches von Meaney, Trinick und Fairhall (2012) in Bezug auf sprachliche Herausforderungen im Mathematikunterricht beschrieben wird. Ziel dieses Modells ist es, Sprachbildungs-Strategien von Lehrkräften nach verschiedenen Phasen zu

kategorisieren. Auf diese Weise kann der Zusammenhang zwischen bestimmten Strategien und Zeitpunkten bzw. Phasen in einer Unterrichtseinheit verdeutlicht werden. Außerdem können Lehrkräfte ihr eigenes Vorgehen beschreiben, diagnostizieren und die Nutzung von Strategien passend zur jeweiligen Phase erwägen. Auch um den wirksamen Einsatz von Radioressourcen im Grundschulunterricht zu beschreiben, kann das vierstufige Modell hilfreich sein.

- In der ersten Stufe *Noticing* (Meaney et al., 2012, S. 203) werden neue Begriffe oder Ausdrücke eingeführt oder neue Bedeutungen zu bereits bekannten Termini hinzugefügt. Eine häufige Verwendung führt dazu, dass die Begriffe von den Schüler:innen bemerkt werden. Außerdem werden sie ermutigt, diese ebenfalls zu verwenden. Noticing-Strategien können neben der wiederholten Darbietung beispielsweise das Geben unterschiedlicher Definitionen, Visualisierungen und das Aufzeigen der Relevanz eines Begriffes sein.
- Die zweite Stufe, *Intake* (Meaney et al., 2012, S. 206) beschreibt den beginnenden Verstehensprozess, durch den neu beobachtete Eigenschaften eines Objekts zunächst mit früheren Erfahrungen in Beziehung gesetzt werden. Schüler:innen beginnen, die neuen Begriffe zu erkunden und mit ihnen zu arbeiten, um sie zu verstehen und zu lernen, wie und wann sie verwendet werden. Auch hierbei können Support-Strategien helfen:

  > Effective strategies are ones that support students to explore the appropriate contexts for using these new aspects of the mathematics register. This support includes providing students with both positive and negative feedback about their experimentation with the new aspects. (Meaney et al., 2012, S. 206)

  Intake-Strategien sollen die Lernenden also auffordern die Begriffe zu erkunden. Hierzu können z.B. Erklärungen für Begriffe oder dafür, wie sie genutzt, gefordert oder nach Beispielen gefragt werden. Außerdem können unangemessene Antworten hinterfragt und optimiert werden.
- In Phase drei, die mit *Integration* betitelt ist, finden Tests, Feedback und Änderungen statt. Die Lernenden haben ein vertieftes Verständnis für die neuen Aspekte des mathematischen Registers und sind dafür verantwortlich, es zu benutzen. Sie könnten jedoch von der Lehrkraft unterstützt und/oder an ihre Fähigkeiten und Kenntnisse erinnert werden, damit sie diese in Aufgabenbearbeitungen einsetzen können. Auch das Feedback der Lerngruppe zeigt den jeweils Sprechenden, ob sie sich klar ausgedrückt haben oder nicht. Als Integration-Strategien kann das Erinnern an Wissen, das

Einfordern und Überprüfen schriftlicher Aufgaben gelten sowie das Fördern eines Klassenklimas, in dem sich gegenseitig geholfen und korrigiert wird.

- In der letzten Phase, dem *Output*, werden die neuen Begriffe ohne die Unterstützung der Lehrkraft fließend verwendet. Um diesen Output zu ermöglichen, bieten die Lehrkräfte als Output-Strategien Aktivitäten an, bei denen die neuen Aspekte des Mathematikregisters auf natürliche Weise auftauchen und genutzt werden können. Kontrolle durch die Lehrkraft und starke Unterstützung sind nur in den ersten beiden Phasen erforderlich, in den letzten Phasen übernehmen die Lernenden die Kontrolle. Die Lehrkraft muss nur Gelegenheiten bieten.

Im Hinblick auf auditive Medien kann ähnliches abgeleitet werden. Ihr Einsatz kann in den ersten beiden Phasen des *Mathematics Register Acquisition Models* von Nutzen sein. Auditive Medien können dazu verwendet werden, neue Begriffe einzuführen und sie in der Phase *Noticing* häufig zu wiederholen. Weiterhin können auditive Medien in der Phase *Intake* als sprachliche Vorbilder im Sinne des Scaffolding dienen.

Scaffolding als Ansatz für die Förderung sprachlicher Kompetenzen im Fach

Im Hinblick auf die Förderung sprachlicher Kompetenzen werden defensive und offensive Ansätze beschrieben. In den aktuellen forschungstheoretischen sowie unterrichtspraktischen Diskursen wird vermehrt die Bedeutung offensiver Ansätze betont. Defensive Ansätze vermeiden die Fachsprache bzw. (vermeintliche) sprachliche Hürden und bieten den Lernenden eine einfachere Sprache an, während offensive Ansätze sprachliche Kompetenzen durch eine bewusste Auseinandersetzung mit und an den Wörtern und Sätzen der Mathematik herausfordern und diese somit zum Lerngegenstand machen (Meyer & Tiedemann, 2017; Götze, 2015). Auf diese Weise werden, wie eingangs schon beschrieben, die Lernchancen und Bildungsziele der Lernenden erhöht. Prediger (2022) betont deshalb, dass sprachsensibler Fachunterricht nicht als defensiver Ansatz missverstanden werden darf, sondern Schüler:innen in ihrer Zone der nächsten Entwicklung herausgefordert werden sollen. Dazu sollen Lehrkräfte Sprache durch verschiedene Aufgabenformate und Unterrichtsmethoden einfordern, die Lernenden diagnostizieren und unterstützen, fachlich relevante (bildungs-)sprachliche Anforderungen fokussieren und damit Bildungssprache sukzessive aufbauen (Prediger, 2022). Auch die Nutzung verschiedener Medien (sowohl schriftlich als auch auditiv) lässt sich hier aufführen. Dies sind Aspekte einer offensiven Sprachförderung, die langfristig vielversprechender ist und Lernende zunehmend zum Bewältigen sprachlicher

Herausforderungen befähigen kann (Meyer & Prediger, 2012). Auch die Aufgabenformate der hier untersuchten Lernumgebungen und generell die Arbeit mit den sprachlastigen auditiven Medien können dementsprechend als offensive Ansätze für einen langfristigen Kompetenzerwerb beschrieben werden. Sie können in diesem Sinne als bildungssprachliches „Sprachbad" dienen – ein Begriff der von Leisen (2013) geprägt wurde. Da schulische Kommunikation und fachliches Lernen in der Bildungssprache bzw. Unterrichtsfachsprache stattfinden, sind die Lernenden von fachbezogener Sprache umgeben, können sie aufnehmen, erproben, ihre eigene fachbezogene Sprache generieren und Sprachbewusstheit entwickeln. Dabei setzt erfolgreiches fachsprachliches Lernen voraus, dass das Sprachbad sprachlich reichhaltig und kognitiv anregend ist. Auch Meyer und Tiedemann (2017) betonen, dass sich sprachsensibler Fachunterricht dadurch auszeichne, dass vielfältige und reichhaltige Kommunikationssituationen durch Methoden und Medien im Sinne eines Sprachbades (Leisen, 2013) bereitgestellt und Erprobungen eingefordert werden, um die sprachliche Entwicklung der Lernenden anzuregen. Durch das Sprachbad kann also die Sprachrezeption (mündlich und schriftlich) und im nächsten Schritt die Sprachproduktion (mündlich und schriftlich) angeregt werden. Zusätzlich zu diesen reichhaltigen Kommunikationssituationen betonen Meyer und Tiedemann (2017) die Bedeutung vom Vernetzen von Darstellungen sowie das Anknüpfen und Weiterentwickeln der von den Lernenden mitgebrachten sprachlichen und inhaltlichen Ressourcen.

Viele der fokussierenden Unterstützungsmethoden verfolgen den sprachdidaktisch etablierten Gedanken des Scaffolding. Unter Scaffolding (engl. scaffold = Gerüst) werden sprachliche Unterstützungsmaßnahmen verstanden, durch welche die Lernenden auf zwei unterschiedlichen Design-Ebenen in der Weiterentwicklung ihres sprachlichen Repertoires unterstützt werden können (Gibbons, 2002) und an die sie sich im Sinne eines sprachlichen Gerüstes anlehnen können (Götze, 2015). „Scaffolding is when a teacher provides significant support structures that enable a student to use new mathematical language" (Meaney et al., 2012, S. 200). Diese sprachlichen Unterstützungsmaßnahmen bieten den Lernenden bei ihren mathematischen Beschreibungen und Begründungen also Orientierung und Sicherheit auf ihrem Weg zu einem kompetenten Sprecher. Sobald die angebotenen sprachlichen Mittel nach gezieltem Üben selbstständig genutzt werden können, wird das vorrübergehende stützende (Sprach-)Gerüst wieder entfernt, sodass der Übergang der erlernten sprachlichen Mittel in den aktiven Wortschatz gefördert wird (Kniffka, 2012, Götze, 2015, Meyer & Tiedemann, 2017). Eingeführt wurde der Begriff in einem Artikel von Wood et al. (1976) im Zusammenhang mit dem Erstspracherwerb und beschreibt dort sprachliche Unterstützungen, die meist von

Erwachsenen in der Interaktion mit Kindern verwendet werden und den Ausbau der sprachlichen Fähigkeiten der Kinder zum Ziel haben. Die Basis des Konzeptes bildet dabei Vygotskis Theorie der „Zone der nächsten Entwicklung“ (Vygotski, 1978), nach der Lernenden Aufgaben gestellt werden sollen, die etwas über ihrem aktuellen Entwicklungsstand liegen, um so eine Lernentwicklung anzuregen. In diesem Sinne soll auch nur so viel Hilfe angeboten werden, wie die Lernenden unbedingt brauchen, um die gestellten Aufgaben selbstständig bearbeiten zu können, wodurch Sacffolding mit konstruktivistischen Lernkonzepten und Prinzipien des selbstgesteuerten Lernens kompatibel wird (Thürmann, 2010). Gibbons (2002) überträgt die Metapher des Scaffolding auf die Gestaltung eines sprachsensiblen Fachunterrichts (unter besonderer Berücksichtigung von Zweitsprachenlernern) und differenzierte sie weiter aus in die Unterteilung zwischen Mikro- und Makro-Scaffolding.

> Das Makro-Scaffolding setzt sich aus jenen drei Elementen zusammen, die dem konkreten Unterricht vorgeschaltet sind: 1) Bedarfsanalyse, 2) Lernstandsanalyse, 3) Unterrichtsplanung. Das Mikro-Scaffolding besteht dann in den sprachlichen Unterstützungsleistungen, die den Lernenden auf der Grundlage des Makro-Scaffolding in der Unterrichtsinteraktion tatsächlich zur Verfügung gestellt werden. (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 83f.)

Die Makro-Scaffolding-Ebene beschreibt also vor allem die Planungsebene des Scaffolding und damit alle zur lexikalischen Entwicklung gezielt geplanten und im Lernprozess implementierten Unterstützungsmaßnahmen. Zu den typischen Makro-Scaffolding-Elementen gehören z.B. der Wortspeicher sowie Unterrichtsmaterialien, die mit Sprachmitteln und schriftlichen Sprachvorbildern aufbereitet sind (Götze, 2015). In ihrer Studie zum Scaffolding beim schriftlichen Erklären operativer Muster zeigt Götze (2019), dass bestimmte Kompetenzen (wie das vollständige und generalisierende Beschreiben von Mustern) einer sprachlich lexikalischen Unterstützung bedürfen. Für die Förderung des Erklärens operativer Zusammenhänge hingegen sind diskursive Aushandlungsprozesse von Bedeutung.

Auf der Mikro-Scaffolding-Ebene (auch *interactional scaffolding*) sind alle lokalen, ungeplanten und somit spontanen Maßnahmen bzw. Techniken des unterrichtlichen Diskurses – wie z.B. die Sprache der Lehrkraft, ihr Eingreifen und ihre sprachliche Korrektur – zu verorten. Beide Ebenen sollen im Folgenden genauer betrachtet werden.

Makro-Scaffolding

Vor der konkreten Planung sprachsensiblen Unterrichts sollen nach Kniffka (2012) zuerst eine sprachliche Bedarfsanalyse sowie eine sprachliche Lernstandsanalyse durchgeführt werden.

Diese bilden gemeinsam die Grundlage für die Formulierung fachlicher und sprachlicher Lernziele sowie für die Planung des sprachsensiblen Mathematikunterrichts.

Für die konkrete Gestaltung entwickelt Gibbons (2002) für den naturwissenschaftlichen Unterricht einen Vorschlag, der aus vier Phasen besteht und für den Mathematikunterricht adaptiert wurde (Meyer & Tiedemann, 2017). In der ersten Phase „Doing an experiment" (Gibbons 2002, S- 43) wird der fachliche Gegenstand in den Mittelpunkt des Interesses gerückt durch Phänomene, die im Sinne eines modernen Mathematikunterrichts (Wittmann, 2003) zum Fragen, Ausprobieren, Fortsetzen, Erforschen und Erklären einladen. In der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* kann beispielsweise das unfaire Glücksspiel zu Beginn des Beitrages als ein solches Phänomen gesehen werden, welches Anlass zum Experimentieren und Untersuchen gibt. In der zweiten Phase „Introducing key vocabulary" (Gibbons, 2002, S. 45) bietet die Lehrkraft (oder das auditive Medium) auf das Experiment oder Phänomen aufbauend Wörter, Satzteile oder Mittel zur Textstrukturierung an. Durch ihren inhaltlichen Bezug zum eben Ausprobierten erscheinen diese den Lernenden als nützliche und notwendige Hilfe, um ihre Gedanken in einer angemessenen und verständlichen Weise zu versprachlichen (Meyer & Tiedemann, 2017). Die dritte Phase „Teacher-guided reporting" (Gibbons, 2002, S. 46) stellt die Präsentation aus Gruppen- oder Partnerarbeit dar, die durch die Lehrkraft angeleitet wird. Die bedeutende Aufgabe der Lehrkraft ist hier, die Präsentation anzuleiten, zur Sprachproduktion anzuregen, die Lernenden als kompetente Gesprächspartner einzubinden und auf den Inhalt zu fokussieren (Meyer & Tiedemann, 2017). In der letzten Phase findet mit dem „Journal writing" (Gibbons, 2002, S. 48) der Eintrag in ein Lerntagebuch (oder wie in der vorliegenden Arbeit in einem Forscherheft) statt, durch den die Ergebnisse nochmal inhaltlich sortiert und festgehalten werden können und sollen. In diesen Einträgen lässt sich eine deutliche Einbindung der thematisierten sprachlichen Mittel in das Schreiben der Lernenden finden.

Zur Unterstützung des lexikalischen Lernpfades wurden in den für die vorgelegte Arbeit entwickelten und untersuchten Lernumgebungen auf der Ebene des Makro-Scaffoldings vor allem folgende Unterstützungsmaßnahmen realisiert:

- *Wortspeicher* (z.B. Verboom, 2008; 2017, Leisen, 2013, Meyer & Prediger, 2012): Durch den gemeinsam im Plenum bzw. in Gruppen erstellten Wortspeicher zur Sammlung, Veröffentlichung und Einübung von Redemitteln werden für die Lerngruppe eine „geteilte Sprachbasis" (Götze, 2015) mit zentralen Sprachmitteln (Wörter und Satzphrasen) sowie Visualisierungen und/oder Strukturierungen geschaffen. Der Wortspeicher dient als sprachliche Orientierung für Sprachhandlungen und wird für alle sichtbar in der Klasse platziert. Dabei werden Wörter und

Formulierungshilfen entweder von der Lehrkraft vorgegeben oder ggf. durch passende Vorschläge von den Lernenden ergänzt bzw. ersetzt (Götze, 2015)

- *Sprachliche Vorbilder* (Götze, 2015): Sprachliche Vorbilder dienen der Unterstützung einer vollständigen und zunehmend auch fachsprachlichen und aufgabenunabhängigen Sprache. Durch die auditiven Medien und die zugehörigen Höraufträge wurde die Sprachrezeption (Götze & Hang, 2017) bildungssprachlicher Hörtexte angeregt. Durch die anschließenden Forscheraufträge und die Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse wurde Sprachproduktion gefordert, bei welcher der Gebrauch der sprachlichen Vorbilder hilfreiche Unterstützung sein kann.
- *Arbeit mit (konditionalen/kausalen) Satzphrasen* (Götze, 2015): Je nach Inhalt und inhaltlicher Struktur kann auch die Arbeit mit konditionalen und/oder kausalen Satzphrasen sinnvoll sein. Um wieder im Beispiel der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* zu bleiben, können hier kausale Satzphrasen wie „Das Spiel ist unfair, weil…“ oder konditionale Satzphrasen „Das Spiel wäre fair, wenn…“ mit in das Makro-Scaffolding aufgenommen werden.

Auf diese Weise wird über ein reines, sich verselbstständigendes Vokabeltraining, durch welches Fachwörter zwar benutzt, aber nicht inhaltlich verstanden werden (Moschkovich, 2013) hinausgegangen und sprachbildende Unterrichtseinheiten angeboten, welche anspruchsvolle sprachliche Lernziele unterstützen (Götze, 2019).

Da die Wortspeicherarbeit einen besonderen Stellenwert in beiden untersuchten Lernumgebungen einnimmt, soll diese im Folgenden noch detaillierter in den Blick genommen werden. Fachwörter tragen die Hauptinformation fachlicher Kommunikation (z.B. Abshagen, 2015; Verboom, 2008; 2017) und sind deshalb von enormer Bedeutung nicht nur für das sprachliche, sondern auch für das mathematische Lernen. Der Fachwortschatz besteht nach Targonska (2011) jedoch nicht aus losen Vokabeln, sondern stellt ein System von unterschiedlichen Beziehungen und Verflechtungen dar, die nicht nur das Behalten fördern, sondern auch das schnelle Abrufen, d.h. eine rasche Verfügbarkeit des nötigen Vokabulars ermöglichen (Targonska, 2011). Aus diesem Grund plädiert die Autorin für eine breitere Auffassung der lexikalischen Kompetenz. Ebenso wie bei der Enkodierung ins Langzeitgedächtnis und der Strukturierung von Wissen (Kap. 2.1) ist auch also der Aufbau von Wortspeichern als strukturierende Darstellung von Vernetzungen sinnvoll. Dazu hat Verboom (2017) einige Gestaltungsmerkmale identifiziert wie das Ordnen von Wortgruppen, das Vorschlagen von Satzmustern, bildliche Veranschaulichungen oder Beispiele. Um die Notwendigkeit für fachsprachliche Ausdrücke oder die Differenz zwischen diesen und den

alltagssprachlichen Ausdrücken aufzuzeigen, kann auch „von außen ein Anstoß durch die Lehrkraft erfolgen, indem sie den Kindern spielerisch aufzeigt, dass „Mathematiker“ sich oft anders ausdrücken als Kinder“ (Verboom, 2017). Diese Aufgabe wird in den untersuchten Einheiten mitunter auch durch Sequenzen der auditiven Medien übernommen. Interventionsstudien zeigen, dass die Arbeit mit Wortspeichern sich als sehr effektiv für die Entwicklung fachsprachlicher Kompetenzen erweisen (z.B. Schindler et al., 2019).

Nach Verboom (2017) endet die Wortspeicherarbeit in Phasen der Eigenproduktion, zu denen Aspekte des ‚pushed output‘ (Swain, 1985) herangezogen werden können, durch die reichhaltige Sprachproduktionen angeregt werden, sodass die Lernenden die zu erlernenden Begriffen und deren Bedeutung aktiv produzierend nutzen und mit Repräsentanten oder Darstellungen erweitern (Voigt, 2019). In den in dieser Arbeit untersuchten Unterrichtseinheiten sollten die Schüler:innen in den Phasen der Eigenproduktionen die Erkenntnisse der Partnerarbeitsphase schriftlich festhalten (Analyse 07). Dabei wurde zum einen der Gebrauch des erarbeiteten Wortspeichers notwendig. Zum anderen konnte diese Ergebnissicherung bei Bedarf als Hilfe bei der anschließenden mündlichen Präsentation genutzt werden und somit auf zweifache Weise der Entwicklung des lexikalischen Lernpfades dienen.

Mikro Scaffolding

Zusätzlich wurde der lexikalische Lernpfad auf der Mikro-Ebene unterstützt, denn zu sprachsensiblem Mathematikunterricht gehören nicht nur Elemente der Unterrichtplanung und umfassende Werkzeuge, sondern auch die personale Steuerung des Unterrichts, die sich vor allem in dem bewussten Einsatz der Sprache der Lehrperson widerspiegelt. Denn auch die Sprache der Lehrkraft kann als Medium für Unterrichtsinhalte bezeichnet werden. Die Sprache sowie das Kommunikationsverhalten und Kommunikationsstrategien der Lehrkraft sichern präventiv die Grundbedingungen für erfolgreiches Unterrichten, indem sie an die sprachlichen Fähigkeiten der Schüler angepasst werden sowie als Verständnis- und Strukturierungshilfe und Modell dienen (Reber & Schönauer-Schneider, 2014). Anpassen bedeutet hier jedoch nicht, das sprachliche Niveau zu vereinfachen, sondern es vor dem Hintergrund des sprachlichen Niveaus der jeweiligen Klasse zu steigern und zu moderieren, denn „die geteilte Fachsprache ist für die Kinder oftmals viel verständlicher als eine heruntergebrochene Alltagssprache“ (Götze, 2015, S. 53). Über die Alltagssprache hinausgehend ermöglicht die Sprache der Lehrkraft bei sprachsensibler Gesprächsführung also erfolgreiche Kommunikation und Lernfortschritte der

Lernenden. Ziel ist es, die Lernenden in eine „bildungssprachliche Lehre“ zu involvieren (Vollmer & Tührmann, 2013).

Der Lehrkraft kommen in diesem Prozess zwei Aufgaben zu: Zum einen muss sie die sprachlichen Interaktionen im Unterricht aktiv anleiten, wozu auch die Auswahl von sprachlichem Material und in der vorliegenden Studie der gezielte Einsatz des auditiven Mediums gehört. Zum anderen ist sie sprachliches Vorbild im Sinne einer kompetenten Person (Vollmer & Tührmann, 2013). Die Lehrkraft kann beispielweise durch Phrasen wie „Dazu sagt man in der Mathematik…“ (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 91) Erklärungen präzisieren oder als sprachliches Vorbild aufzeigen, wie die Begriffe und Phrasen des Wortspeichers in ganzen Sätzen miteinander verbunden werden können – wodurch auch sie zu einem erweiternden Scaffolding Element wird (Götze, 2015). Dabei hat sich die Bedeutung der korrekten Sprache der Lehrkraft in vielen Unterrichtsstudien als sehr lernwirksam herausgestellt (Vollmer & Thürmann, 2013; Wessel, 2015). Meyer und Tiedemann (2017, S. 87f.) beschreiben drei Aspekte lernförderlichen Sprachverhaltens der Lehrkraft:

- *die Balance zwischen eng und offen gestellten Fragen:* Enge Fragen verlangen lediglich kurze Antworten ermöglichen aber schnelle Verständnisüberprüfung. Offen gestellte Fragen verlangen sprachlich komplexere Antworten und regen somit das Üben verständiger Sprachproduktion an
- *verlangsamte Unterrichtsinteraktion:* Die Lernenden sollen ausreichend Zeit bekommen, ihre sprachlichen Äußerungen zu planen. Dazu können Sprechpausen der Lehrkraft, Murmelphasen (Ich-Du-Wir-Konzept), das Üben von Präsentation dienen, sodass die Äußerungen von den Kindern genauer durchdacht, im Austausch mit anderen erprobt und präzisiert werden (Berg et al., 2018). Auch die Produktion von Audio-Podcasts durch Schüler:innen kann zu verlangsamter und intensiverer Auseinandersetzung mit – bzw. Planung von – mathematischen Äußerungen dienen (Klose, 2022).
- *auf den Inhalt reagieren:* Es soll nach Gibbons (2002) nicht auf die erwünschte Formulierung gewartet werden, sondern der Inhalt beachtet, wertgeschätzt und ggf. dazu passend sprachliche Mängel unkommentiert durch das Vormachen des richtigen Sprachverhaltens verbessert werden.

Ganz konkret werden in der Literatur eine Reihe detaillierter und unterrichtspraktischer Modellierungstechniken beschrieben (z.B. Dannenbauer, 2002, Motsch, 2017), welche den sprachlichen Input für Kinder und – wenn sie sprachheilpädagogisch akzentuiert werden –auch den Spracherwerb anregen können (Reber & Schönauer-Schneider, 2014, S. 47). Diese

Modellierungstechniken sind Methoden zur gezielten Förderung sprachlicher Kompetenzen, bei denen die sprachlichen Äußerungen der Sprachförderkraft als Modell dienen. Dannenbauer unterscheidet hier grundsätzlich zwischen Sprachmodellen, die einer kindlichen Äußerung vorausgehend (Präsentation, Parallelsprechen oder Alternativfragen) und Sprachmodellen, die kindlichen Äußerungen nachfolgend (z.B. Expansion, Umformung oder korrektives Feedback) eingesetzt werden. Beim korrektiven Feedback reagiert die Lehrkraft auf eine fehlerhafte Schüleräußerung mit einer richtigen Sprachstruktur. Dabei soll jedoch nicht zur Verwendung von Fachbegriffen gezwungen werden, da dies die spontane Mitteilungsbereitschaft der Kinder hemmen würde (Götze, 2015). Die Schüler:innen müssen also diese Struktur nicht nachsprechen, teilweise wird sie jedoch spontan imitiert. „Das Kind hört die Zielstruktur als Modell, nimmt sie wahr und produziert sie nach einiger Zeit selbst“ (Reber & Schönauer-Schneider, 2014, S. 49). Kindlichen Äußerungen vorausgehende Sprachmodelle sind unterrichtlich einzuplanen und haben intentionale Qualität. Dabei wird der Input von der Lehrkraft aufbereitet oder – wie im vorliegenden Fall – der sprachliche Input des auditiven Mediums analysiert, zweckmäßig eingesetzt und/oder ggf. mit entsprechenden Materialien aufbereitet. Wichtig ist jedoch immer, dass die Lehrkraft sich um eine Rücknahme ihrer Sprechanteile bemüht, um die Sprechanteile der Lernenden zu erhöhen. Dies kann beispielsweise durch Impulsfragen und -techniken geschehen, die das Denkfeld der Lernenden erweitern wie beispielsweise offene Fragen oder das Sammeln von Schülerbeiträgen ohne sofortige inhaltliche Wertung (Reber & Schönauer-Schneider, 2014, S. 51).

Bezüglich des Sprachregisters der von Vollmer und Tührmann (2013) vorgeschlagenen bildungssprachlichen Lehre lässt sich Schleppegrell (2007) zitieren:

> If mathematics concepts are not introduced and explained in oral language that moves from the ordinary language that students already understand to the more technical language that they need to develop for full understanding of the concepts, student learning suffers. (S. 156)

Davon ableitend lässt sich für die Sprache des auditiven Mediums ebenso wie für die Sprache der Lehrkraft festhalten, dass sie sprachliches Vorbild im Sinne einer kompetenten Person ist (Vollmer & Tührmann, 2013). Bezugnehmend auf Reber und Schönauer-Schneider (2014) stellen sie also kindlichen Äußerungen vorausgehende Sprachmodelle (Präsentation) dar. Die nachfolgenden Sprachmodelle müssen dann trotzdem noch durch die Lehrkraft gesleistet werden. Für die Entwicklung von Lernumgebungen kann also festgehalten werden, dass beim Einsatz auditiver Medien – wie bei allen anderen Medien auch – die Sprache des Mediums durch die Sprache der Lehrkraft aufgefangen, eingerahmt und ggf. durch nachfolgende Sprachmodelle vertieft und/oder korrigiert werden muss, um einen gelingenden

sprachsensiblen Mathematikunterricht unter Einsatz dieses Mediums zu gewährleisten. Das Medium allein kann diese Dinge nicht leisten. Dieser Tatsache müssen sich Lehrkräfte bewusst sein. Und für diese Aufgabe müssen sie geschult sein. Dazu soll diese Arbeit einen Beitrag leisten.

4.5 Zwischenfazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es in dem Sprachkontinuum zwischen der Alltags- und der Fachsprache (die sehr individuelle Unterrichtssprache ausklammernd) eine weitere Ebene – die fachbezogene Bildungssprache – gibt. Diese kann bildungssoziologisch als hochbedeutsam beschrieben werden und wird von Lehrkräften oft vorausgesetzt, obwohl sie vielen Lernenden unvertraut ist (Prediger & Götze, 2017, S. 12). Wegen ihrer eben beschriebenen Bedeutung ist die Entwicklung fachbezogener Bildungssprache also eine wichtige und langfristige Aufgabe, die entlang eines konzeptuellen Lernpfades im Sinne des dualen Lernpfades (Pöhler, 2018) geplant werden muss. Dabei sollen nicht allein einzelne Fachwörter in den Blick genommen werden, denn dies birgt die Gefahr der Verselbstständigung der Vokabelarbeit (Moschkovich, 2013). Vielmehr soll der Zusammenhang zwischen fachlichen Teilaspekten, Sprachhandlungen und Sprachmitteln erkannt und genutzt werden, durch den auch anspruchsvolle fachliche Lernziele erreicht werden können (Götze/Prediger, 2017; Götze, 2019; Prediger, 2019). Denn obwohl diese kognitive Funktion bereits gut beschrieben ist, wird ein bedeutender Forschungsbedarf im Hinblick auf empirische Untersuchungen der Entwicklungsprozesse des konzeptuellen Verständnisses gesehen, um aufzeigen zu können, dass und wie Lernende durch und mit Sprache lernen (Moschkovich, 2002, S. 12). Die Bedeutung fachsprachlicher Kompetenzen sowie die Erkenntnisse zum Zusammenhang von Kenntnissen über die Wortbedeutung definierter mathematischer Fachbegriffe und Kenntnissen über mathematische Konzepte (Bochnik & Ufer, 2017) führen zu den Forschungsfragen F2 und F3, die im empirischen Teil dieser Arbeit untersucht werden:

> F2: Welche Aspekte mathematischen und sprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden?
>
> F3: Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisches und fachsprachliches Lernen unterstützen?

Beispielhaft sollen deshalb in zwei Lernumgebungen den Lernenden über auditive Medien sprachliche Mittel als Vorbilder für die sprachliche Bewältigung mathematischer Aufgaben dienen. Damit die sprachlichen Mittel als Scaffolding wahrgenommen und genutzt werden

können, werden Höraufträge zu wichtigen Sequenzen der auditiven Medien entwickelt, die eine bewusste und produktive Verarbeitung der auditiven Informationen anregen sollen (Kap. 3.5). Bevor die empirische Studie, die gewählte Methodik sowie die Ergebnisse vorgestellt werden können, sollen deshalb die beiden Lernumgebungen sowie die ihnen zugrundeliegenden auditiven Medien fachdidaktisch analysiert werden. Auch eine sprachliche Analyse der auditiven Medien wird hier vorgenommen, um die verwendeten sprachlichen Mittel in ihrem Zusammenhang mit fachlichen Teilaspekten zu bestimmen und ihr Verständnis bzw. ihre Nutzung unterstützen zu können.

5. Analyse der Radiosendungen

Für die Auswahl von auditiven Medien sowie für die Gestaltung von Lernumgebungen und den praktischen Einsatz im Unterricht sind die verschiedenen Ebenen dieses Mediums zu beachten. Deshalb folgt für beide untersuchten Radiosendungen nach einer kurzen Darstellung des Inhaltes jeweils die Analyse der Medien auf drei Ebenen: Zuerst wird eine mediendidaktische Analyse vorgenommen, dann folgt im Hinblick auf die Forschungsfrage eine detaillierte sprachliche Bedarfsanalyse anhand der Manuskripte der Sendungen (Anhang A7 und A8) sowie eine fachdidaktische Analyse der thematisierten Inhalte. Aufbauend auf den Analysen der qualitativ hochwertigen Sendungen muss entscheiden werden, welche Inhalte und Begriffe dieser Bildungsressource Gegenstand der Lernumgebung sein können und sollen. Denn „allein die Verwendung von Wörtern, die auch in der Fachwissenschaft vorkommen, ist noch kein hinreichendes Kriterium für eine Wissenschaftsorientierung des Unterrichts“ (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 29). Ebenso ist eine Verwendung von Begriffen und Inhalten einer qualitativ hochwertigen Bildungsressource bzw. dem didaktischen Material von öffentlichen Plattformen nicht per se Garant für einen hochwertigen Unterricht.

Dafür muss der Lerngegenstand sorgfältig sowohl fachwissenschaftlich als auch fachdidaktisch analysiert, passende Lernziele formuliert sowie didaktische Konzepte und (sprachsensible) Unterrichtsmaterialien für ein geeignetes Vorgehen im Unterricht gewählt, entwickelt und/oder angepasst werden. Dazu folgen auf die fachwissenschaftlichen und -didaktischen Analysen der mathematischen Hintergründe jeweils eine ausführliche Darstellung methodischer und didaktischer Schlussfolgerungen sowie die Darstellung der untersuchten, auf diesen Schlussfolgerungen aufbauenden Lernumgebungen

5.1 Wann ist ein Spiel fair?

Der Radiobeitrag *Wann ist ein Spiel fair?* wurde erstmals 2015 und ein weiteres Mal im zweiten Sendedurchgang 2019 über das hr2-Kinderfunkkolleg gesendet und steht auf der Internetseite des Kinderfunkkollegs Mathematik als Podcast zum Anhören und Download zur freien Verfügung.[16] Bevor der Radiobeitrag *Wann ist ein Spiel fair?* sprachlich sowie medien- und fachdidaktisch analysiert werden kann, soll nachfolgend in aller Kürze eine inhaltliche und thematische Beschreibung des Radiobeitrags erfolgen.

[16] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wann-ist-ein-spiel-fair.

5.1.2 Inhaltliche Beschreibung

Der Beitrag *Wann ist ein Spiel fair* thematisiert auf spielerische Weise den Begriff und das Konzept von Fairness in Bezug auf Glücksspiele. Dabei wird die Thematik in eine schulische Alltagssituation eingebettet. Die beiden Protagonist:innen Franka und Nils diskutieren darüber, wer den Klassenraum aufkehren muss. Sie schlagen ein Glücksspiel vor, welches für sie entscheiden soll: „…man hat zwei Würfel, und wenn ein Pasch drankommt, muss ich aufkehren, und wenn 'ne Straße dran kommt, musst du aufkehren" (MF, Z. 31-33).[17] Aus dieser Situation heraus werden die Begriffe *Pasch* und *Straße* geklärt sowie die Frage aufgeworfen, ob sich die Kinder auf dieses Spiel einlassen sollen; ob dieses Spiel für beide Parteien fair ist oder nicht.

Um diese Frage beantworten zu können, müssen die Kinder herausfinden, was Fairness bedeutet und was ein Spiel zu einem fairen Spiel macht. Sie entscheiden, das Spiel zu testen und somit praktisch im Hinblick auf Fairness zu untersuchen. Dazu legen sie fest, wer einen Punkt bei *Pasch* und wer einen Punkt bei *Straße* bekommt und würfeln so lange gegeneinander, bis einer von beiden fünf Punkte erreicht. Es werden also nur die Ereignisse *Pasch* und *Straße* berücksichtigt. Dabei wird festgestellt, dass ein faires Spiel gleich hohe Gewinnchancen für alle Mitspielenden haben muss. Die Kinder notieren, wie oft mit welcher Kombination gewonnen wird. Nach mehreren Runden stellen sie erste Vermutungen über die Fairness des Spiels an beginnen dabei über günstige Ergebnisse und Wahrscheinlichkeiten zu sprechen. Nils denkt, es ist wahrscheinlicher zwei unterschiedliche Zahlen zu würfeln, während Franka und Alina glauben, „dass s' eigentlich wahrscheinlicher ist, dass man einen Pasch würfelt, weil es sechs Möglichkeiten gibt und bei der Straße fünf Möglichkeiten" (MF, Z. 114-116). Trotzdem sind die Kinder nicht von ihren Spielergebnissen und Vermutungen überzeugt, da ja auch der Zufall entscheiden könnte. Es wird erklärt, dass man auch 1.000 oder 10.000 Mal würfeln könne und sich daraufhin eine deutliche Tendenz abzeichnen würde. Da den Kindern dafür jedoch die Zeit fehlt, suchen sie ihren Mathelehrer auf und bitten ihn um Hilfe, um herauszufinden, ob das Spiel fair ist. Dieser erklärt ihnen, dass sie zunächst herausfinden müssen, wie viele Möglichkeiten es für den Pasch und die Straße gibt. Gemeinsam fertigen sie dafür eine Tabelle an, in der alle möglichen Würfel-Kombinationen beim Würfeln mit zwei Würfeln aufgeführt werden. Anschließend kreuzen die Kinder an, welche der Kombinationen einen Pasch und welche eine Straße ergeben. Anhand der Tabelle erkennen sie, dass es insgesamt 36 Würfel-Kombinationen gibt – davon sechs Möglichkeiten für *Pasch* und zehn

[17] MF bezieht sich auf das Manuskipt (M) zur Sendung über Fairness und Zufallsexperimente (V) und lässt sich im Anhang (A7) dieser Arbeit finden.

Möglichkeiten für *Straße* (plus 20-mal kein Ergebnis). Sie kommen zu dem Schluss, dass das Spiel nicht fair ist, da die Anzahl der Möglichkeiten unterschiedlich hoch ist, und halten fest, dass die Wahrscheinlichkeit von der Anzahl der Möglichkeiten für ein Ereignis abhängt. Je mehr Möglichkeiten es für ein Ergebnis gibt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, mit diesem Ergebnis zu gewinnen. Das Würfelspiel ist demnach unfair, da es mehr Möglichkeiten für eine Straße als für einen Pasch gibt und somit die Wahrscheinlichkeit, eine Straße zu würfeln, höher ist.

Ein Mitschüler schlägt daraufhin ein alternatives Spiel vor. Wieder muss mit zwei Würfeln gespielt werden. Jedoch gewinnt jetzt eine Person, wenn die Augenzahlen der Würfel zusammen vier ergeben, während die andere Person gewinnt, wenn die Augenzahlen zusammen zehn ergeben. Er erklärt, dass dieses Spiel fair ist, weil es für beide Ereignisse gleich viele Möglichkeiten gibt und zählt diese auf.

5.1.2 Mediendidaktische Analyse

Die technische Gestaltung und Produktion von auditiven Medien kann sehr unterschiedlich aussehen. Auch die Beiträge des Kinderfunkkollegs unterscheiden sich in einigen Punkten, auch wenn sie alle als ‚Feature' (Gutenberg, 2000) geplant und ausgestaltet wurden. Da die Gestaltungsmerkmale wie der Einsatz von Soundeffekten und O-Tönen, aber auch Aufbau und Struktur des Beitrages einen Effekt auf die Informationsaufnahme und -verarbeitung haben (Kap. 3.4.1) sollen diese Gestaltungsmerkmale im Folgenden kurz analysiert werden.

Um die Aufmerksamkeit der Rezipient:innen auf wichtige Inhalte zu lenken, werden Klangeffekte eingesetzt (Böhme et al., 2010). Beispielsweise werden neu eingeführte Begriffe wie *Pasch* und *Straße* bei ihrer erstmaligen Nennung durch einen bestimmten Soundeffekt angekündigt (MF, Z. 34-39). Auch längere informative Passagen oder Begriffsklärungen werden durch begleitende Klangeffekte gekennzeichnet (MF, Z. 100-102). Dies kommt einer Hervorhebung von Schlüsselinformationen im Text gleich (Leisen, 2013) – ähnlich der Fett- oder Kursivschrift – und erleichtert somit das Hörverstehen, da die Aufmerksamkeit der Lernenden angeregt und didaktisch sinnvoll gelenkt wird (Hinkelbein & Hoops, 1998). Hagen (2006) spricht hier von Aufmerksamkeit durch akustische Veränderungen. Die Klangeffekte können also zur kognitiven Aktivierung beitragen. Abgrenzend zu den mathematischen Inhalten wird die Rahmengeschichte immer mit einer belebten Musik untermalt. Auch dies lenkt die Aufmerksamkeit und erleichtert das Mitdenken.

Wie schon erwähnt ist die Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* als Feature gestaltet. Zusätzlich zu den O-Tönen wird die Sendung durch Athmosphäre und authentische Geräusche

ausgeschmückt und somit realistischer gestaltet (Ordolff & Wachtel, 2014). Beispielsweise wird das Anfangsgespräch der Protagonist:innen im Klassenraum mit typischen Hintergrundgeräuschen einer schulischen Situation, wie dem Rufen von Kindern oder einer Pausenglocke, hinterlegt oder die ‚Arbeitsphase' der Protagonist:innen mit Würfelgeräuschen. Dies kann das Interesse der Schüler:innen wecken und die Konzentration fördern. Auch häufige Sprecherwechsel machen die Hörerfahrung abwechslungsreicher und erleichtern das Zuhören.

Darüber hinaus ist die Sendung außerdem wie ein kleines Hörspiel aufgebaut. Die mathematischen Inhalte sind in eine Rahmengeschichte eingebettet und die O-Töne sind keine Spontanaufnahmen oder Interviewausschnitte, sondern von der Radioautorin passend zur Handlung der Geschichte geskriptet. Die Kinderstimmen in den O-Tönen werden somit zu interagierenden Protagonist:innen und der Experte ist eine Personen aus der Lebenswelt der Rezipient:innen. Auf diese Weise werden drei der vier von Reich et al. (2005, S. 86f.) im Hinblick auf Qualitätskriterien für Lernsendungen unterscheidenen Aspekte erfüllt: Personenorientierung, Sachorientierung und Narrationsorientierung. Die Lernsituation wird somit als ein sehr authentischer, für die Rezipient:innen bekannter und nachvollziehbarer Kontext präsentiert und die Kommunikation in einen sinnhaften Bezug gesetzt. Im Sinne Lamperts und Wespes (2012) wird auf diese Weise das Herstellen von Sinn ermöglicht. Die Art der Einbettung von fachlichen Inhalten in eine Rahmengeschichte geht damit über die Gestaltungsmerkmale eines ‚normalen' Features hinaus. In MF (Z. 43f. oder Z. 114-118) wird bspw. durch die Interaktion der Protagonist:innen sehr anschaulich das mathematische Problem aufgeworfen sowie eine persönliche Motivation zur Lösung provoziert. Durch die geschichtliche Einbettung kann die Konstruktion eines Situationsmodells zu diesem Problem untertützt werden (Anderson, 2013). In MF (Z. 181 und Z. 189-194) werden die Rezipient:innen durch die authentische Überraschung der Kinder in den O-Tönen selbst zum Umdenken angeregt. Dabei stellen die Situativität und Dialogform sowie die Nachfragen und vereinfachten Äußerungen der Protagonist:innen „Inseln der Verständlichkeit" (Lampert & Wespe, 2012, S. 27) zwischen komplexeren Aussagen dar und geben Zeit zum Verstehen.

5.1.3 Sprachliche Bedarfsanalyse

Wie in Kap. 3.4 beschrieben, müssen schülergerechte auditive Medien sowohl inhaltlich durch didaktische Reduktion an ihre Zielgruppe angepasst, als auch zum sprachlichen Niveau der Zielgruppe passend produziert oder passend ausgewählt werden (Ordolff & Wachtel, 2014). Die sprachliche Bedarfsanalyse der Radiosendung hat deshalb zum Ziel, die Verständlichkeit und die Eignung des Beitrages für die vom Hessischen Rundfunk vorgegebene Zielgruppe

(Rezipient:innen im Alter von 8-13 Jahren) zu überprüfen. Dazu wird das Manuskript der Sendung (Anhang A7) auf Text-, Satz- und Wortebene untersucht.

Textebene

Grundlegend lässt sich festhalten, dass der Beitrag vor allem von Bildungs- und Alltagssprache geprägt ist (Feilke, 2013; Meyer & Tiedemann, 2017; siehe auch Kap. 4.3). Die Protagonist:innen der Geschichte, Kinder einer sechsten Klasse, unterhalten sich untereinander vor allem in dem Register der Alltagssprache und nutzen dann im Verlauf des Beitrages vermehrt die neu eingeführten Fachbegriffe. Ihre Sprache ist narrativ, situativ und kontextgebunden (z.B. MF, Z. 26-33). Die Alltagsnähe der Sprache zeigt sich beispielsweise auch dadurch, dass der Begriff ‚Würfel' hier nicht als Fachbegriff (geometrischer Würfel), sondern als alltagssprachlicher Begriff (Spielwürfel) genutzt wird. Die Sprache der Sprecherin und des Experten ist hingegen stärker von schriftsprachlichen Elementen geprägt. Es werden jedoch immer wieder ‚einfache', alltagssprachliche O-Töne der Kinder als fragende oder erklärende Einschübe eingebaut (z.B. MF, Z. 95-98), welche die Ausführungen der Sprecherin und der Lehrkraft pausieren oder vertiefen und so eine Unterstützung der Informationsverarbeitung und damit des Verständnisses darstellen.

Das Vorgehen der Protagonist:innen während ihres Problemlöseprozesses wird linear dargestellt. Neue Inhalte sowie die Regeln und Ergebnisse des Glücksspieles werden klar dargestellt und oft wiederholt, um das Verständnis zu sichern (Wachtel, 2013). An verschiedenen Stellen werden Zusammenfassungen des Geschehens oder Wiederholungen des bisher Gehörten (MF, Z. 206-208) geliefert, was es den Rezipient:innen erleichtern soll, den auditiven (und damit flüchtigen) Informationen zu folgen. Trotzdem gibt es Sequenzen, wie beispielsweise die Erklärung des Arbeitsauftrages an der Tabelle, die zu schnell erfolgen und zu viele (möglicherweise unbekannte oder noch nicht gefestigte) Begriffe beinhalten (MF, Z. 146-16: „Zeile", „Spalte", „Kombination", viele Zahlen).

Die wichtigsten Begriffe werden jedoch, wie schon erwähnt, immer von Klangeffekten markiert (z.B. MF, 34-39). Diese akkustischen Veränderungprozesse können die Aufmerksamkeit anregen (Hagen, 2006) und zur Struktur der mathematischen Inhalte beitragen. Nur an wenigen Stellen wird der lineare Aufbau durch z.B. einen rückwärtsgewandten Perspektivwechsel (MF, Z. 105-118) durchbrochen. Die Äußerungen und Gedankengänge der Protagonist:innen in den O-Tönen stellen eine gute Überleitung von der spielerisch aufgeworfenen Problematik zum mathematischen Inhalt dar (MF, Z. 138ff.).

Satzebene

Auf der Satzebene lässt sich zunächst festhalten, dass es – ähnlich wie bei den benutzten Sprachregistern – Unterschiede zwischen den Äußerungen der kindlichen Protagonist:innen und den Sprechertexten gibt. Die Aussagen der Kinder bestehen zumeist aus einfachen, kurzen oder sogar unvollständigen Hauptsätzen, die an den Kontext gebunden sind. Die Sprecherin hingegen benutzt teilweise auch schwierigere grammatische Strukturen (Meyer & Tiedemann, 2017; Bastians, 2018; Abshagen, 2015). Hier lassen sich sogar komplexere Sätze mit Satzgefüge mit Nebensätzen ersten und zweiten Grades (z.B. MF, Z. 182-188) finden, mit denen anspruchsvollere Kontexte beschrieben werden. Diese werden jedoch langsam gesprochen und mit Sprechpausen das Hörverständnis erleichtert - also wesentliche Kommunikationsstrategien der Lehrersprache angewendet (Reber & Schönauer-Schneider, 2014; Kap. 4.4.4).

Bei der Sprecherin lässt sich an einer (fachlich weniger wichtigen) Stelle die Verwendung des Genitivs finden („im Klassenraum der 6d“ (MF, Z. 21)) und nur an einer (fachlich weniger wichtigen) Stelle die Verwendung des Dativs mit einer Nominalisierung („dem Aufkehren“ (MF, Z. 203f.)). Der Komparativ wird recht häufig in unterschiedlichen Satzstrukturen verwendet (z.B. „…ob es wahrscheinlicher ist, dass…“ (MF, Z. 222f.)). Zu Beginn wird in der Darstellung der Ausgangsituation eine Redewendung genutzt („sich in den Haaren haben“ (MF, Z. 7-8)); fachliche Redewendungen (wie z.B. „Geraden, die sich kreuzen“; Kap. 4.3.4) kommen jedoch nicht vor. Bei der Beschreibung der möglichen Kombinationen, die in die Tabelle eingetragen werden können, werden sehr viele Zahlen bzw. Zahlenfolgen oder -kombinationen nacheinander genannt (MF, Z. 154-162), was sowohl in schriftlicher als auch in mündlicher Rezeption zu Schwierigkeiten und einem Stocken des Informationsflusses führen kann.

Doch auch trotz teilweise komplexerer grammatischer Satzstrukturen lässt sich die Satzebene zum größten Teil in die Bildungssprache einordnen. Unpersönliche Sprache (Meyer & Tiedemann, 2017; Bastians, 2018) kommt zwar vor, jedoch nicht allzu häufig und auch in den Äußerungen der kindlichen Protagonist:innen. Hier wird unpersönliche Sprache im authentischen Rahmen der spielerischen Situationen (z.B. „man würfelt“, MF, Z. 115) verwendet. Ähnlich verhält es sich mit den Passivkonstruktionen (z.B. „viermal wurde gespielt“, MF, Z. 100-101), Konditionalsätzen („wenn ein Pasch drankommt, … musst du aufkehren“ MF, Z. 31-33) oder dem Konjunktiv („als sei das Spiel fair“ MF, Z. 100 oder „das würde ganz schön lange dauern“ MF, Z. 132). Sie kommen hauptsächlich in Bezug auf die Spielsituation vor – also im alltagssprachlichen Gebrauch ohne dabei zu schriftsprachlich zu erscheinen.

Wortebene

Auf der Wortebene lassen sich neben den alltäglichen Begriffen aus dem spielerischen Bereich („Würfel“, „gewinnen“, der „Punkt“ als der Punkt im Spiel – nicht der Punkt der Geometrie, z.B. MF, Z. 32, 78, 53) auch viele bildungssprachliche Begriffe finden. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass die meisten Begriffe durch Erklärungen der Sprecherin oder der Protagonist:innen greifbarer gemacht werden (z.B. MF, Z. 38-41).

Es gibt jedoch einige sprachliche Besonderheiten oder mögliche Schwierigkeiten, die es für den Einsatz im Unterricht zu berücksichtigen gilt: Einige Begriffe werden als Synonyme benutzt, was zu Verwirrung auf Seiten der Rezipient:innen führen könnte – bspw. „Chance“ und „Möglichkeit“ (MF, Z. 225-230) oder „Augensumme“ (MF, Z. 219-223), „Augenzahl“ (MF, Z. 35) und „Würfelergebnis“ (MF, Z. 38). Letztere sind zusätzlich außerdem Komposita (Bastians, 2018). Hier muss das Verständnis also in doppelter Hinsicht gesichert, d.h. die Bedeutung gemeinsam mit den Schüler:innen rekonstruiert werden. Je nach Klassenstufe muss hier ggf. auch das Grundwort ‚Summe‘ in Beziehung zum Bestimmungswort ‚Augen‘ geklärt werden. Gleiches gilt für das Grundwort ‚Ergebnis‘. Nur wenn die Bedeutungen der einzelnen Wörter erschlossen wurden, kann eine Vernetzung des Wortschatzes stattfinden und die Fachbegriffe bzw. Komposita, die Fachbegriffe enthalten, in den bildungssprachlichen Gebrauch integriert werden (Abshagen, 2015). Des Weiteren lassen sich in den Äußerungen der Sprecherin schriftsprachliche Ausdrücke finden wie „dass es sich … genau andersherum verhält“ (MF, Z. 111f.). Hier hätte das eher abstrakte Verb ‚verhalten‘ mit dem einfachen Hilfsverb ‚ist‘ ersetzt werden können. Auch solche schriftsprachlichen Ausdrücke müssen ggf. in der Nachbesprechung des Gehörten geklärt werden. Es gibt weiterhin einige Verbkonstruktionen mit Vor- und Nachsilben z.B. bei den Verben „verstehen“ (MF, Z. 7), „aufkehren“ (MF, Z. 33 und Z. 151f.), allerdings beziehen sich diese meist auf den Kontext des Würfelspieles und finden deshalb in einem alltagssprachlichen Gebrauch statt. Das Verb ‚eintragen‘ kann zusätzlich als eins von mehreren polysemen Wörtern in dem Beitrag identifiziert werden (Bastians, 2018). Bei der Beschreibung der Arbeit in der Tabelle heißt es in (MF, Z. 151f.): „Hier tragen Alina und Franka jetzt alle möglichen Kombinationen ein“. Das Verb ‚eintragen‘ ist hier in Vorsilbe und Wortstamm getrennt, sodass der Stamm ‚tragen‘ alleine steht und in einer anderen als der gemeinten Bedeutung interpretiert werden könnte – nämlich der alltäglichen Bedeutung vom Tragen eines Gegenstandes. Auch der Begriff ‚Punkt‘ trägt wie schon oben erwähnt zwei Bedeutungsmöglichkeiten in sich, wird in der Sendung jedoch nicht in seiner fachlichen, sondern seiner alltagssprachlichen Bedeutung verwendet („jetzt hab‘ ich einen Punkt“ MF, Z. 77). Symbole, Formeln, Abkürzungen o.ä. werden – bis

auf die Nennung von Zahlen als Würfelergebnisse, nicht verwendet (Abshagen, 2015). Konjunktionen wie „denn“, „weil“ oder „deswegen“ kommen zwar vor (z.B. MF, Z. 69, 95, 117), allerdings wieder im Kontext des Würfelspieles und damit als bildungssprachliches Element im alltagssprachlichen Gebrauch. Es liegt an der Natur des fachmathematischen Inhaltes, dass einige der zentralen Begriffe der Sendung abstrakte Begriffe sind wie „fair“ (MF, Z. 43), „Zufall“ (MF, Z. 82), „Wahrscheinlichkeit“ (MF, Z. 107), „Möglichkeit“ (MF, Z. 198), „Chance“ (MF, Z. 109) und „Glück“ (MF, Z. 215) – letzteres insbesondere in Abgrenzung zum Zufall. Dies kann zu Schwierigkeiten führen, da sich abstrakte Begriffe schwieriger vermitteln lassen. „Bilder sind zumeist nicht hilfreich und Erklärungen in Worten können zu umfangreich werden, wenn mehrere Aspekte eines Begriffs erfasst werden sollen“ (Abshagen, 2015, S. 15). Nicht nur deshalb, muss hier im Unterricht viel Zeit gelassen werden, die Vorstellungen der Kinder aufzugreifen und die neuen Fachbegriffe mit Bedeutung zu füllen. Um Fehlinterpretationen auszuschließen sollte in der Einführungsphase mit entsprechenden Zusätzen zu den verschiedenen Begriffen gearbeitet werden. Für den Begriff ‚sicher‘ eignen sich bspw. Formulierungen wie „Es gibt nur die eine Möglichkeit, dass…“ oder „Es ist absolut sicher, dass…“, während für den Begriff ‚unmöglich‘ Formulierungen wie „Es gibt keine Möglichkeit, dass…“ oder „Es ist ausgeschlossen, dass…“ genutzt werden können (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 64). Durch das Finden von verschiedenen Beispielsätzen, die einen neuen Begriff beinhalten und einen konkreten Kontext geben, können die Lernenden an den Begriff herangeführt werden (Abshagen, 2015, S. 15). Solche Beispielsätze werden auf ganz natürliche Weise von den Protagonist:innen und der Sprecherin in der Radiosendung geliefert. Zusätzlich lassen sich die Begriffe in Höraufträgen und der gemeinsamen Erarbeitung eines Wortspeichers vertiefen. Folgende zentrale Begriffe oder Phrasen können aus dem Beitrag für die Wortspeicherarbeit herausgefiltert werden:

Begriffe

- „Pasch“ und „Straße“ (z.B. MF, 34-39)
- „Zufall“ (MF, Z. 82)
- „Wahrscheinlichkeit“ (MF, Z. 107)
- „Chance“ (MF, Z. 109)
- „fair“ (MF, Z. 43)
- „Möglichkeiten“ (MF, Z. 142)
- „Kombination“ (MF, Z. 152)
- „Ergebnisse“ (z.B. MF, Z. 171)

- „xy fällt“ (z.B. MF, Z. 71, 88, 224; anstelle von „man würfelt xy“)
- „Glück“ (MF, Z. 215)

Redemittel

-„weder…noch“ (MF, Z. 179)

-„wahrscheinlicher…, dass“ (MF, Z. 222f.)

-„gleich wahrscheinlich“ (MF, Z. 225)

-„dass die Chance(n) … gleich hoch sind“ (MF, Z. 109-111)

-„höhere Wahrscheinlichkeit“ (MF, Z. 107)

-„mehr Möglichkeiten/ Chancen“ (MF, Z. 193, 200, 201)

-„gleich viele Möglichkeiten“ (MF, Z. 198)

Diese Anzahl an Begrifflichkeiten ist selbstverständlich viel zu umfangreich für einen Wortspeicher und muss deshalb – abhängig von dem Lernstand und dem Vorwissen der Lerngruppe reduziert und strukturiert werden.

Ergebnisse der sprachlichen Analyse

Nach der detaillierten Analyse lässt sich also festhalten, dass der Beitrag mit seiner authentischen Verbindung von Alltags- und Bildungssprache (Feilke, 2013) ein geeignetes bildungssprachliches Vorbild für den Einsatz im Mathematikunterricht der Grundschule darstellen kann. Er enthält einige (möglicherweise neue) Fachbegriffe, hebt sie aber wie schon erwähnt stets durch bestimmte Töne und Klangeffekte hervor (Böhme et al., 2010; Hagen, 2006). Auf diese Weise werden wichtigen Passagen gekennzeichnet, die für die Initiierung von Begriffsbildungsprozessen nötig sind. Die schriftsprachlichen Elemente überwiegen nicht. Sie sind in einen spielerischen Kontext und kindliche Äußerungen eingebettet. Protagonist:innen führen die Fachbegriffe in alltagsnahem Kontext mit alltagsnaher Sprache ein.

Insgesamt ist der Wortschatz der Sprecherin umfangreicher als der Wortschatz der Protagonist:innen bzw. als der alltagssprachliche Wortschatz. Interessant ist jedoch, dass sich im Verlauf der Radiosendung beobachten lässt, wie sich der Wortschatz der Protagonist:innen weiterentwickelt. Die Protagonist:innen übernehmen die bildungssprachlichen Begriffe und integrieren sie auf authentische Weise in ihre Überlegungen und Äußerungen oder führen neue Begriffe sogar selbst ein. Die Rezipient:innen können dieser Entwicklung folgen ohne von neuen Begriffen überfordert zu werden und bekommen so die Chance, ihren Wortschatz

gemeinsam mit den Protagonist:innen zu erweitern. Der Beitrag stellt also ein bildungssprachliches Vorbild dar, durch welches den Rezipient:innen bildungssprachliche Elemente wie Begriffe und Satz- bzw. Sprachstrukturen präsentiert werden (Leisen, 2013). Gleichzeitig können diese wiederkehrenden Elemente den Lernenden als Scaffolding (Gibbons, 2002) dienen. Die Äußerungen der Protagonist:innen und der Sprecherin können als sprachliche Gerüste fungieren, die von den Lernenden übernommen werden können, bis die neuen Begriffe soweit gefestigt sind, dass ein eigener flüssiger ‚Output' (Meaney et al., 2012; Kap. 4.4.4) generiert werden kann.

Im Sinne der in Tab. 2 (Kap. 3.4.1) dargestellten Merkmale zur Hörverständlichkeitsanalyse lässt sich festhalten, dass der Beitrag viele Merkmale enthält, die das Hörverstehen bzw. die auditive Informationsverarbeitung erleichtern – und wenige, die es erschweren. Erleichternd wirken die einfachen syntaktischen Strukturen (kurze Sätze), angemessene Informationsdichte sowie angemessen viele neue Wörter und Fachtermini. Zur Übersichtlichkeit tragen die deutliche und sinnvolle Gliederung durch Sprecherwechsel und musikalische Elemente bei, der lineare Aufbau sowie das Hervorheben von Schlüsselinformationen. Weiterhin steht die Länge des Textes in einem angemessenen Verhältnis zu seinem Inhalt. Inhalte werden veranschaulicht durch Ergänzung visueller Informationen und Beispielen aus dem Erfahrungsbereich der Lernenden. Außerdem werden die Rezipient:innen durch Fragen und die aufgeworfene Problematik aus der Spielsituation zum Mitdenken aufgefordert. All diese Elemente erleichtern das Hörverstehen bzw. die auditive Informationsverarbeitung.

5.1.4 Fachwissenschaftliche Analyse

Die Radiosendung bewegt sich inhaltlich in zwei aneinander angrenzenden Gebieten: der beschreibenden Statistik und der Wahrscheinlichkeit. Im Mittelpunkt des Interesses der (beschreibenden) Statistik stehen Daten bzw. Datenmengen, ihre Erfassung, Aufbereitung und Interpretation (Neubert, 2012). In der Wahrscheinlichkeitstheorie finden sich u.a. die Teilbereiche Zufallsexperimente, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Kombinatorik. Diese drei Teilbereiche der Wahrscheinlichkeit sowie die beschreibende Statistik sollen im Folgenden in ihren fachwissenschaftlichen Grundlagen dargestellt werden, um darauf aufbauend fachdidaktische Analysen zu ermöglichen.

Daten erfassen und darstellen

Das Erfassen von Daten in der Primarstufe kann und soll eine Vorstufe statistischer Untersuchungen sein. Bei statistischen Erhebungen werden die Elemente einer vorgegebenen Menge (die Merkmalsträger) auf eine bestimmte Eigenschaft hin untersucht, die sich aus dem Forschungsinteresse bzw. der Fragestellung oder Problematik ergibt (Neubert, 2012). Als Ausgangspunkt eigenen sich dabei „Fragen aus dem Erfahrungsbereich der Kinder" (Krauthausen, 2018, S. 161) sowie die von den Bildungsstandards vorgegebenen einfachen Experimente (Kultusministerkonferenz, 2005). Von diesem Ausgangspunkt aus beginnen statistische Untersuchungen „mit einer Planungsphase, in der geklärt werden muss, für welchen Zweck die Daten benötigt werden" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 35). Diesen Zweck liefert die Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* durch die angestrebte Lösung der aufgeworfenen Problematik einer authentischen Streitsituation. In der weiteren Planung muss geklärt werden, *was* und *wie* untersucht werden soll. Bezogen auf das Würfelspiel des Radiobeitrages, müssen die Merkmalsträger (die beiden Würfel, mit denen geworfen wird) auf ihre Merkmalsausprägungen (die Augenzahlen 1 bis 6) bzw. das jeweilige Identifikationsmerkmal (gewürfelte Augenzahl) hin untersucht werden (Neubert, 2012). In der Durchführung der statistischen Untersuchung werden die Daten erfasst, dargestellt, ausgewertet und interpretiert. Hasemann (2009) spricht hier von vier Meilensteinen bei der Kompetenzentwicklung im Bereich *Daten*.

1. Daten sammeln: Die eigenen Daten der Kinder und die sie selbst tangierenden Fragestellungen haben einen motivationalen Vorteil gegenüber vorgefertigten Datensammlungen.
2. Daten festhalten: Der Flüchtigkeit von Daten wird entgegengewirkt.
3. Daten gezielt aufbereiten: Ein bewusster Sichtweisenwechsel auf die Darstellungen hilft bei der Auswertung.
4. Aus Diagrammen Informationen entnehmen: Die Darstellungen können für eine Interpretation und Diskussion der Ergebnisse genutzt werden.

Bezüglich der Erfassung der Daten sollen Schüler:innen unterschiedliche Möglichkeiten der Dokumentation kennen lernen, bspw. Strichlisten, Balkendiagramme oder Kreisdiagramme (Krauthausen, 2018, S. 161; Sill & Kurtzmann, 2019, S. 40f.). Dabei erkennen sie auch, dass Daten oft flüchtig sind, „d.h. dass sie unwiederbringlich verloren sind, wenn man sie nicht aufzeichnet" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 35). Der Flüchtigkeit der Daten, d.h. der gewürfelten Ergebnisse, aus der Untersuchung des Würfelspiels aus dem Radiobeitrag wird bspw. durch das Festhalten der Würfelergebnisse in Form einer Strichliste entgegengewirkt. Die Strichliste wird

hier zwar nicht in ein Balkendiagramm o.ä. übertragen, jedoch werden den Schüler:innen durch den visuellen Vergleich der Anzahl der Striche für eine Merkmalsausprägung (also der absoluten Häufigkeiten) trotzdem schon statistische Beobachtungen ermöglicht. In der Strichliste werden – anders als in der unsortierten Urliste – die Beobachtungswerte schon während der Datenerhebung nach möglichen Merkmalsausprägungen geordnet notiert (Neubert, 2012). Meist geschieht dies in tabellarischer Form. Die Ergebnisdarstellung in Diagrammen, Tabellen oder Listen können dann „Anlass und Hilfsmittel zur Beantwortung von Fragen sein, um der alltäglichen Gefahr vorzubeugen, dass statistische Darstellungen ‚fraglos' akzeptiert werden" (Krauthausen, 2018, S. 161). Bereits in anderen Unterrichtsfächern der Primarstufe (z.B. Deutsch- und Sachunterricht) werden Kompetenzen im Lesen und Interpretieren komplexer grafischer Darstellungen gefordert – in den weiterführenden Schulen auch noch in einigen anderen Unterrichtsfächern (Sill & Kurtzmann, 2019). Auch für die Entwicklung von Kompetenzen zum Interpretieren von Daten im außerschulischen Kontext „ist eine frühe Konfrontation mit grafischen Darstellungen unabdingbar" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 44). Im Zeitalter der Daten und Datenverarbeitung steigt die Bedeutung von einer frühzeitig entwickelten Datenkompetenz immer mehr. Durch geschickte Darstellung von Daten ist der Leser manipulierbar (Krämer, 2015). „Doch wenn Sie kontinuierlich immer wieder Daten und Diagramme unter die Lupe nehmen lassen, werden Sie den Kindern nicht nur einen Zugang zur beschreibenden Statistik eröffnen, sondern sie auf ihrem Weg zu mündigen Bürgerinnen und Bürgern maßgeblich unterstützen" (Ruwisch, 2009, S. 43).

Wahrscheinlichkeit

Die Wahrscheinlichkeitstheorie bildet „die Grundlage der Modelle zum Beschreiben stochastischer Situationen" (Neubert, 2012 S. 26). Dabei gibt es unterschiedliche Wege, sich stochastischen Situationen beschreibend anzunähern. In der Literatur werden zwei theoretische Zugänge zum Wahrscheinlichkeitsbegriff unterschieden: der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff und der frequentistische Wahrscheinlichkeitsbegriff.

- Der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff „wird allein aufgrund logischer Schlüsse aufgestellt, ohne auf konkrete Experimente angewiesen zu sein (A-priori-Definition). Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ist diesem Verständnis zufolge das Verhältnis der Zahl der günstigen Fälle zur Zahl der möglichen Fälle" (Krauthausen, 2018, S. 171).

- Der frequentistische Wahrscheinlichkeitsbegriff nimmt die Ergebnisse von Zufallsexperimenten auf lange Sicht in den Blick – die relative Häufigkeit als Quotient aus der Häufigkeit der Beobachtungen von günstigen Fällen und der Gesamtzahl aller unternommener Beobachtungen (Krauthausen, 2018, S. 171).

Die relative Häufigkeit beruht auf Bernoullis ‚Gesetz der großen Zahlen' und wird auch in der Radiosendung erwähnt (MF, Z. 119-134), liegt jedoch nicht im Rahmen der angestrebten Kompetenzen der Unterrichtseinheit. Deshalb wurde die Sequenz zum ‚Gesetz der großen Zahlen' für die in dieser Studie untersuchten Lernumgebungen aus dem Beitrag herausgeschnitten und nicht zur Rezeption genutzt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass in der Unterrichtseinheit vorrangig der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff zum Tragen kommen soll. Vielmehr sollen über das Zufallsexperiment des Beitrages hinaus im Sinne Neuberts (2012) experimentelle Erfahrungen mit weiteren unterschiedlichen Zufallsgeneratoren gemacht werden. Aus diesen beiden Möglichkeiten, den Wahrscheinlichkeitsbegriff mit mathematischen Mitteln zu beschreiben, ergeben sich zwei unterschiedliche Zugänge zur Wahrscheinlichkeit:

- Der klassisch-kombinatorische Zugang beruht auf dem klassischen Wahrscheinlichkeitsbegriff und benötigt deshalb Kenntnisse zur Kombinatorik und Bruchrechnung, kann jedoch anhand spezieller Beispiele auch in der Grundschule genutzt werden kann (Neubert, 2012).
- Durch den spielerisch-experimentellen Zugang, den der frequentistische Wahrscheinlichkeitsbegriff erlaubt, können Häufigkeiten ermittelt und verglichen werden und auf diese Weise eine Abschätzung für die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses abgegeben werden (Krauthausen, 2018, S. 172). Dieser Zugang knüpft stärker an die Vorerfahrungen der Kinder im Zusammenhang mit Spielen, zufallsbedingten Phänomenen und Zufallsgeneratoren an als der klassisch-kombinatorische Zugang (Neubert, 2012). Außerdem ist er geeigneter, um subjektive und intuitive Vorstellungen bzw. Fehlvorstellungen zum Phänomen Zufall und Wahrscheinlichkeit „aufzuarbeiten und gegebenenfalls anzuzweifeln" (Neubert, 2012, S. 79). Durch die Beobachtung von Zufallsexperimenten können die Lernenden zu objektiven und quantitativen Einschätzungen geführt werden und so eine formalere Auffassungen von Wahrscheinlichkeit entwickeln (Schipper, 2011).

Der spielerisch-experimentelle Zugang wird deshalb als Einstieg zur Betrachtung von Wahrscheinlichkeiten empfohlen (Neubert, 2012). Denn vor allem in Spielsituationen werden Kinder mit Entscheidungsprozessen und -situationen konfrontiert, in denen es keine

Sicherheiten gibt und sie sich auf die Kunst des gesunden Abwägens verlassen müssen (Martignon & Wasner, 2005, S. 202). Diese sollte wenigstens in ihren Grundelementen früh gelernt werden. Der Radiobeitrag bietet hier schon einen sehr guten und authentischen spielerisch-experimentellen Zugang, der in der Lernumgebung von den Kindern nachempfunden und untersucht werden soll. Darüber hinaus sollen durch die zusätzlichen Zufallsgeneratoren weitere experimentelle Erfahrungen und Erkenntnisse gemacht werden sowie Transferleistungen in der Untersuchungs- und Argumentationsstruktur erbracht werden.

Zufallsexperimente

Unter einem Zufallsexperiment versteht man ein Experiment mit folgenden Eigenschaften (Eichler, 2010):

- Es kann unter gleichen, definierten Bedingungen im Prinzip beliebig oft wiederholt werden.
- Es gibt mindestens zwei mögliche Versuchsausgänge (Ergebnisse).
- Das Ergebnis des Zufallsexperiments ist nicht vorhersagbar.

Grundlage bzw. Inhalt von Zufallsexperimenten sind also nicht vorhersehbare, zufällige Ereignisse, „die unter gewissen Voraussetzungen eintreten können aber nicht eintreten müssen" (Neubert, 2011, S. 4). Zufallsexperimente können danach unterschieden werden, ob „im stochastischen Modell alle Elementarereignisse die gleiche Wahrscheinlichkeit oder ob sie zumindest teilweise eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit haben" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 237). In der Radiosendung wird nur der Würfel genutzt, ein symmetrischer Zufallsgenerator, bei dem im stochastischen Modell alle sechs Elementarereignisse die gleiche Wahrscheinlichkeit haben. Als Zufallsexperiment wurde ein Würfelspiel gewählt, bei dem mit zwei Würfeln geworfen wird. Diese Wahl deckt sich mit der Feststellung, dass das Werfen eines oder mehrerer Würfel „gegenwärtig eine der meistverwendeten stochastischen Situationen in Schullehrbüchern und fachdidaktischen Publikationen" ist (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 255). Den Grund sehen die Autoren darin, dass der Würfel immer den gebräuchlichsten Zufallsgenerator im Alltag von Kindern darstellt.

In der untersuchten Lernumgebung werden darüber hinaus jedoch noch andere Objekte (Münzen, Spielkarten, Glücksräder) sowie zwei asymmetrische Zufallsgeneratoren (gezinkter Würfel oder die ‚Schweinewürfel' aus dem Spiel ‚Würfelschwein' (siehe dazu Neubert & Schnabel, 2017)) hinzugezogen, um weitreichendere Erfahrungen zu ermöglichen. Eine gute Darstellung verschiedener Zufallsgeneratoren und ihrer didaktischen Potenziale findet sich in

Neubert (2011). Zufallsexperimente bieten „einen grundschulgemäßen Zugang zu einem altersgerechten Zufalls-/Wahrscheinlichkeitsbegriff“ (Krauthausen, 2018, S. 172). Die Schüler:innen lernen dabei eine typische Vorgehensweise der Mathematik als Wissenschaft kennen, die zu einem Erkenntnisgewinn führen kann, aber auch ihre Grenzen hat, da man das Ergebnis eines Zufallsexperimentes trotzdem nicht bestimmen, sondern immer von einer Tendenz über den Ausgang abgeben kann. „Alle wichtigen Theoreme aus der Wahrscheinlichkeitstheorie handeln davon, was bei unendlicher Wiederholung passiert“ (Blum, 1999, S. 73). Auch in der vorliegenden Studie konnten interessante Diskussionen zwischen den Schüler:innenn über ebendiese Grenzen beobachtet werden. Sie beginnen zu begreifen, dass trotz einer hohen Wahrscheinlichkeit das Ergebnis immer zufällig bleibt. Selbst bei einer Wahrscheinlichkeit von 99% kann immer noch das Ereignis mit der Wahrscheinlichkeit von 1% eintreten (vgl. Analyse 03).

Wahrscheinlichkeitsrechnung

Um den Ausgang eines Zufallsexperimentes zu bestimmen, bedarf es der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung befasst sich aus mathematischer Sicht mit Zufallserscheinungen, um die Wahrscheinlichkeiten der Ergebnisse von Zufallsexperimenten zu bestimmen (Neubert, 2011). Der Ergebnisraum umfasst dabei alle möglichen Ausgänge des Experimentes. Ein einzelnes Ereignis kann aus einem oder mehreren Ergebnissen bestehen. Im Falle des Würfelspieles aus der Radiosendung bspw. bestehen die Ereignisse *Pasch* und *Straße* jeweils aus den Ergebnissen zweier Würfel. Der Grad der Wahrscheinlichkeit wird dann durch reelle Maßzahlen angegeben, die den Ereignissen zugeordnet werden und dient als „Maß für die Häufigkeit des Auftretens des betreffenden Ergebnisses“ (Sill & Kurtztmann, 2019, S. 224). Außerdem kann der Grad der Sicherheit, mit dem ein Ereignis eintreten wird, sprachlich durch die mathematischen Begriffe *wahrscheinlich, unwahrscheinlich, sicher, möglich* und *unmöglich* eingestuft und Einschätzungen von Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden (Neubert, 2012, S. 26; Sill & Kurtzmann, 2019, S. 33). Eine Hilfe für das Kommunizieren über Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen wäre hier z.B. die Wahrscheinlichkeitsskala (Hasemann & Mirwald, 2008).

Laplace-Modell

Die Bildungsstandards fordern, dass die Lernenden im Mathematikunterricht der Primarstufe Gewinnchancen von einfachen Zufallsexperimenten einschätzen (Kultusministerkonferenz, 2005, S. 11; ausführlicher in Kap. 5.1.5). Für solche Einschätzungen müssen sie

> im Sinne der klassischen Definition der Wahrscheinlichkeit von Laplace (1749 — 1827) in der Lage sein, in einem solchen Experiment eine Beziehung zwischen der Anzahl aller günstigen Fälle und der aller möglichen Fälle herzustellen. Denn Wahrscheinlichkeit in diesem klassischen Sinne ist definiert als das Verhältnis aller günstigen Ereignisse zur Anzahl aller möglichen Ergebnisse. (Schipper, 2011, S. 276)

Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit P(A) eines Ereignisses A wird der folgende Quotient berechnet unter der Bedingung, dass alle möglichen Ergebnisse gleichwahrscheinlich sind (Kütting & Sauer, 2014, S. 129):

$$P(A) = \frac{\text{Anzahl der für das Ereignis A günstigen Fälle}}{\text{Anzahl aller möglichen Fälle}}$$

Es wird für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit P(A) also die Bestimmung der Anzahlen im Zähler und im Nenner notwendig. Diese Anzahlbestimmung ist Aufgabe der Kombinatorik. Um die Wahrscheinlichkeiten für den Sieg von Pasch bzw. Straße berechnen zu können, müssen also die Anzahl aller möglichen Fälle sowie die Anzahl der Fälle für Pasch bzw. Straße bestimmt werden. Die Laplace-Formel zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit P(A) wird in der Regel erst in der weiterführenden Schule nach der Behandlung von Brüchen eingeführt (Sill & Kurtzmann, 2019) und wird deshalb auch weder in der Radiosendung, noch in der Lernumgebung thematisiert. Es werden jedoch die absoluten Häufigkeiten (also die Anzahl der Fälle für Pasch bzw. Straße) miteinander verglichen und durch die Arbeit mit der Tabelle auch in Relation zu der Anzahl aller möglichen Fälle gesetzt (siehe dazu Analyse 03). In jedem Fall müssen aber die Anzahlen aller möglichen und günstigen Fälle durch Kombinatorik bestimmt werden (Schipper, 2011).

Kombinatorik

In der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* sowie den dazu geplanten Unterrichtsinhalten werden keine klassischen kombinatorischen Aufgaben behandelt, wohl aber kombinatorische Problemstellungen mit stochastischen Fragen verbunden. Es geht also um die Nutzung von Kombinatorik als Hilfsmittel zum Lösen mathematischer Probleme oder Fragestellungen. Grundlegend befasst sich die Kombinatorik mit der Anordnung von verschiedenen Elementen bzw. der Bestimmung ihrer Kombinationsmöglichkeiten, wobei im Prinzip zwei Fragen bearbeitet werden (Kütting & Sauer, 2014, S. 129):

1. Welche Möglichkeiten gibt es?
2. Wie viele Möglichkeiten gibt es?

Nach der Beantwortung der ersten Frage muss für die Beantwortung der zweiten Frage nur noch die Anzahl der Möglichkeiten abgezählt werden (Kütting & Sauer, 2014). Durch einfache Strategien lassen sich dabei geschickte Wege der Anzahlbestimmung finden, weshalb die Kombinatorik auch als ‚geschicktes Zählen' bezeichnet wird (Selter & Spiegel, 2004, S. 295). Mühsames Abzählen kann somit umgangen werden. Für eine anschauliche Darstellung der Möglichkeiten lässt sich auch ein Baumdiagramm zeichnen, welches die verschiedenen Folgen von Handlungen und in deren Ergebnis alle Möglichkeiten aufzeigt (Sill & Kurzmann, 2019). Durch ein solches Baumdiagramm können oft beide der o.g. Fragen direkt beantwortet werden (Kütting & Sauer, 2014). In der untersuchten Unterrichtseinheit wird auf das Zeichnen eines Baumdiagrammes jedoch verzichtet, da dies zum einen zu weit vorausgreifen würde (z.B. Sill & Kurtzmann, 2019) und zum anderen in der Radiosendung der Fokus auf dem Abzählen der Möglichkeiten anhand einer tabellarischen Darstellung liegt (ähnlich der Abhandlungen in Neubert, 2019, S. 8).

Für das Würfelspiel gibt es die möglichen Ergebnisse *Pasch* und *Straße*. Um die Anzahl der Möglichkeiten dieser Ergebnisse zu bestimmen, kann das allgemeine Zählprinzip der Kombinatorik bzw. die Produkt- oder Multiplikationsregel angewandt werden (Kütting & Sauer, 2014). Diese liefert eine Möglichkeit des verkürzten Zählens über die Multiplikation und wird wie folgt definiert: „Kann zur Erzeugung eines möglichen Ergebnisses eine Folge von Entscheidungen angegeben werden, die nacheinander getroffen werden müssen, so ist die Gesamtzahl aller möglichen Ergebnisse gleich dem Produkt der Anzahl der möglichen Ergebnisse bei jeder Entscheidung" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 177). Die Folge der Entscheidungen gibt die jeweiligen Ergebnisse der Teilexperimente, im vorliegenden Fall der Würfe mit den beiden Würfeln, an (Schipper, 2011, S. 276). Jede der sechs Möglichkeiten des ersten Würfels kann mit jedem der sechs Möglichkeiten des zweiten Würfels kombiniert werden – es gibt also 6*6 = 36 *mögliche Ergebnisse*. Die Gesamtzahl der *günstigen Ergebnisse* für Pasch und Straße kann ebenso als Produkt der Anzahl der möglichen Ergebnisse beim ersten Wurf (= 6) und der Anzahl der möglichen Ergebnisse beim zweiten Wurf (unterschiedlich für Pasch und Straße) berechnet werden. Für das günstige Ergebnis *Pasch* sind im ersten Wurf noch alle sechs Ergebnisse möglich, im zweiten Wurf jedoch nur noch eines günstig (abhängig vom ersten). So kann die Anzahl der Kombinationen für Pasch mit 6*1 = 6 bestimmt werden. Auch für das günstige Ergebnis *Straße* sind im ersten Wurf noch alle sechs Ergebnisse möglich, im zweiten Wurf gibt es jedoch zwei günstige Ergebnisse – nämlich die beiden Nachbarzahlen

(bei einer 4 wären bspw. die 3 und die 5 günstig). Die *Straße* weist allerdings die Problematik auf, dass es für die 6 und die 1 nur eine Nachbarzahl und es deshalb zwei *günstige Ergebnisse* weniger gibt. Diese Besonderheit können die Schüler:innen anhand der Tabelle entdecken. Die Rechnung könnte dann z.B. lauten: 6*2-2 = 10. Es gibt also sechs mögliche Kombinationen für den *Pasch* und zehn für die *Straße*. Damit beträgt die Wahrscheinlichkeit (also das Verhältnis aller günstigen zu allen möglichen Fällen) für den *Pasch* $\frac{6}{36}$ (= 16,66 %) und für die *Straße* $\frac{10}{36}$ (= 27,77 %). Wie schon erwähnt und auch in der didaktischen Literatur vorgeschlagen, sollen und können diese Werte von den Schüler:innen noch nicht berechnet werden (z.B. Sill & Kurtzmann, 2019). Auch die Darstellung des Würfelspiels als zweistufiges Zufallsexperiment sowie die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten mithilfe eines Baumdiagrammes wären hier zwar möglich, sind allerdings erst für den weiterführenden Unterrichts angesetzt (Neubert, 2012). Es soll und kann jedoch anhand der symbolischen Darstellung in der Tabelle schon das ungleichmäßige Verhältnis der Kombinationen im Vergleich (Verhältnis von Pasch zu Straße = 6 zu 10) entdeckt werden. Das Ziel der kombinatorischen Teilaufgabe besteht also weniger in der Lösung eines mathematischen Problems, sondern vielmehr in der „Entwicklung einer Entdeckerhaltung und der Fähigkeit, an Probleme systematisch heranzugehen“ (Schipper, 2011, S. 281).

5.1.5 Fachdidaktische Analyse

Nach den fachwissenschaftlichen Grundlagen zu den Inhalten der untersuchten Sendung sollen nun noch die fachdidaktischen Grundlagen zu ebendiesen Inhalten dargestellt werden, um aufbauend darauf begründete methodisch-didaktische Schlussfolgerungen für einen Einsatz im Mathematikunterricht bzw. der Entwicklung einer Lernumgebung ziehen zu können.

Curriculare Einordnung

Inhaltlicher Schwerpunkt des Beitrages *Wann ist ein Spiel fair?* ist die ‚Wahrscheinlichkeit‘ als Teilgebiet der Leitidee ‚Daten und Zufall‘. „Diese Leitidee umfasst die Erfassung, Ermittlung, systematische Betrachtung und Interpretation von Daten sowie die datenbasierte Erkundung von Zufallserscheinungen im Alltag und von Experimenten“ (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 17). Die Wahrscheinlichkeit bildet im Wesentlichen den mathematischen Mittelpunkt des Beitrages und wird ergänzt durch die Auseinandersetzung mit dem ‚Zufall‘ und der Arbeit mit Zufallsexperimenten – weiteren Teilgebieten der Leitidee Daten und Zufall und eng verknüpft mit dem Teilbereich der Wahrscheinlichkeit. Zum Bereich ‚Zufallsexperimente‘ zählt unter

anderem das Würfeln mit zwei Würfeln als symmetrische Zufallsgeneratoren, welches Grundprinzip des im Radiobeitrag vorgestellten Glückspieles ist. In den angestrebten Kompetenzen werden explizit auch das Lösen einfacher kombinatorischer Fragestellungen mithilfe von heuristischen Hilfsmitteln wie der Tabelle sowie die Kenntnis und Nutzung der Grundbegriffe zur Beschreibung von Zufallsereignissen aufgeführt (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 18)

Da die dieser Arbeit zugrunde liegende Studie in hessischen Grundschulen durchgeführt wurde, wurden bei der Vorbereitung auch die Standardvorgaben des Hessischen Kultusministeriums berücksichtigt. Hier wird das Inhaltsfeld ‚Daten und Zufall' u.a. beschrieben durch das „Vergleichen, Beurteilen und Bewerten von Wahrscheinlichkeiten einfacher Ereignisse in Zufallsexperimenten" (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 15). Schüler:innen sollen bis zum Ende der Klassenstufe 4 die Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeit kennenlernen sowie Gewinnchancen bei einfachen Zufallsexperimenten bewerten können:

> Die Sammlung und Strukturierung von Daten erfolgt auf der Grundlage von Beobachtungen, Untersuchungen und Experimenten. Das Erfassen von Daten in tabellarischer Form, in Schaubildern und Diagrammen und ihre Weiterverarbeitung (Häufigkeiten) erhöhen ihren Informationsgehalt und machen die Informationsentnahme übersichtlich. Durch einfache Zufallsexperimente und deren Beurteilung erhalten die Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeit (wahrscheinlich, unmöglich, sicher) einen mathematischen Gehalt und bewerten Gewinnchancen. (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 19)

Sowohl das geforderte Experimentieren und das Erfassen von Daten in tabellarischer Form als auch das Arbeiten mit und Beurteilen von Zufallsexperimenten wird in dem Radiobeitrag in einer lebensweltlichen Situation dargestellt und eine eigene Nachahmung und Erarbeitung ermöglicht. Die Begriffsbildung wird durch den authentischen Gebrauch der Grundbegriffe durch die Protagonist:innen angeregt und kann so im unterrichtlichen Gebrauch vertieft werden. Der Beitrag eröffnet also die Problemstellung und dient hinführend zur praktischen Umsetzung innerhalb des Unterrichts. Auf diese Weise kann er das Interesse der Schüler:innen wecken, begründet die Notwendigkeit der Überprüfung von Glücksspielen, gibt Anstoß zu eigenen Entdeckungen und bietet so einen neuen und lebensweltlichen Zugang zur Mathematik.

Neben den inhaltsbezogenen mathematischen Kompetenzen werden durch die Arbeit mit dem Radiobeitrag auch prozessbezogene Kompetenzen (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 9ff.) angeregt und gefördert, da die Arbeit mit diesem Inhaltsbereich sehr gut geeignet ist, den Erwerb der inhaltsbezogenen mit der Entwicklung der allgemeinen mathematischen Kompetenzen zu verbinden (Eichler, 2010). Im Fokus stehen hier das ‚mathematische

Kommunizieren‘ und das ‚mathematische Argumentieren‘. Im Bereich des mathematischen Kommunizierens sollen sich die Lernenden in der im Folgenden dargestellten Einheit z.B. mündlich oder auch schriftlich und mit Hilfe geeigneter Medien über mathematische Bearbeitungen verständigen, Überlegungen und Ergebnisse beschreiben und erklären, mathematische Zusammenhänge erläutern und inhaltlich aufeinander eingehen, indem sie Lösungswege anderer nachvollziehen, hinterfragen und gemeinsam weiter entwickeln (Kultusministerkonferenz, 2022b). Die konkrete Beschreibung der Standards zeigt, dass es sich hier um sachbezogene, also mathematikbezogene Kommunikationsprozesse handelt und nicht um eine sprachliche Verständigung ohne Inhaltsbezug. Und sie zeigt den Prozess- und Reflexionscharakter des Mathematiktreibens auf: Lösungswege und Prozesse werden kommuniziert sowie durch die Reflexion im sozialen Lernen das Bewusstmachen angeregt (Krauthausen, 2018, S. 20f.).

Im Bereich des ‚mathematischen Argumentierens‘, einer besonderen Art der Kommunikations- und Interaktionsprozesse, sollen die Lernenden mathematische Aussagen hinterfragen und auf Korrektheit überprüfen, Vermutungen zu mathematischen Zusammenhängen aufstellen, Begründungen formulieren und Begründungen anderer nachvollziehen (Kultusministerkonferenz, 2022b). In argumentativen Situationen werden Begründungsbedarfe explizit aufgezeigt und Bedeutungen ausgehandelt. Argumentative Diskurse können z.B. dadurch initiiert werden, dass Lehrkräfte durch ungewöhnliche Ergebnisse (hier: die unfairen Glücksspiele; Kap. 5.1.7) oder Provokationen (ggf. mithilfe von Materialien oder Medien) einen künstlichen Klärungsbedarf schaffen (Schwarzkopf, 1999). Interdependenzen zur fachlichen Thematik lassen sich z.B. bei der Interpretation von Daten nutzen (Krauthausen, 2018, S. 159). Neben diesen beiden hauptsächlich fokussierten Kompetenzen wird auch die allgemeine mathematische Kompetenz ‚Darstellen‘ angeregt (Kultusministerkonferenz, 2022b), da für das Bearbeiten mathematischer Probleme geeignete Darstellungen (hier die Strichliste und die Tabelle) erstellt und für die Überprüfung von Vermutungen genutzt werden sowie sprachliche Darstellungen in den Blick genommen werden.

> Der Begriff des *Darstellens* ist umfassend gemeint, er impliziert sowohl die Fähigkeit zum mündlichen und schriftsprachlichen Ausdruck als auch den sachgerechten Gebrauch von Notationen wie z.B. Skizzen, Tabellen, Graphen, Diagrammen usw. — also jegliche Art der Veräußerung des Denkens. (Krauthausen, 2018, S. 27)

Beide Aspekte – sowohl der sprachliche Ausdruck als auch der sachgerechte Gebrauch von Notationen – werden durch den Einsatz der Radioressource in dieser Einheit angeregt. Überschneidungen gibt es hier zu der im Hessischen Kerncurriculum zusätzlich genannten

allgemeinen mathematischen Kompetenz ‚Umgehen mit symbolischen, formalen und technischen Elementen' (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 13). Sie findet ihren Platz, da die Lernenden mit mathematischen Symbolen, Verfahren oder Werkzeugen (wie z.B. der Strichliste und der Tabelle) Zusammenhänge strukturiert darstellen sowie die symbolische und formale Sprache in Umgangssprache – und umgekehrt – übersetzen. Insbesondere beim Übergang von qualitativen Aussagen zu zunehmend quantitativen Betrachtungen kommt Sprache eine besondere Bedeutung zu (Krauthausen, 2018). Möglichkeiten zur Unterstützung in diesem Bereich werden in Kap. 4.4.4 aufgezeigt.

Grund- und Fehlvorstellungen zur Wahrscheinlichkeit

Wie in den obigen Ausführungen schon an verschiedenen Stellen deutlich wurde, ist der Gegenstand der Leitidee ‚Daten und Zufall' keinesfalls die Wahrscheinlichkeitsrechnung: „Aufgabe des Unterrichts ist vielmehr, die sehr subjektiven und intuitiven kindlichen Vorstellungen über die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen zu mehr objektiven und in einfachen Spielsituationen auch quantitativen Einschätzungen zu führen" (Schipper, 2011, S. 284). Nur so können sie die oben schon erwähnte Kunst des gesunden Abwägens korrekt erlernen und anwenden, ohne aufgrund falscher Annahmen fehlerhafte Entscheidungsprozesse anzustellen (Martignon & Wasner, 2005).

Denn sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen halten sich Fehlvorstellungen über Wahrscheinlichkeiten – auch noch nach der Behandlung der Wahrscheinlichkeitsrechnung. In Bezug auf Zufallsexperimente mit dem Würfel beruhen diese Fehlvorstellungen z.B. auf eigener Erfahrung mit Glücksspielen oder es wird mit der Beschaffenheit des Würfels oder der Anordnung der Zahlen argumentiert. Am bekanntesten sind Fehlvorstellungen, welche die Augenzahl 6 betreffen z.B., dass die 6 die geringsten Chancen hat, gewürfelt zu werden oder dass man, wenn man häufig eine 6 gewürfelt hat, jetzt auch wieder eine 6 (oder andersherum erstmal keine 6 mehr) bekommen kann (Krauthausen, 2018, S. 168f.). Solche deterministischen (Fehl-)Vorstellungen sollen laut Schipper (2011) Stück für Stück durch ein stochastisches Denken abgelöst werden: „Die Kinder sollen sich bewusst sein, dass es Ereignisse gibt, die nicht mit Sicherheit, sondern nur mit einem gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden können. … Sie verstehen, dass bei symmetrischen Zufallsgeneratoren (wie z. B. Münzen, Würfeln) eine Gleichverteilung der Ereignisse angenommen werden kann" (S. 285). Eine weitere Fehlvorstellung ganz anderer Art bezeichnet Wollring (1994) als die „animistische Vorstellung" – die subjektive Auffassung, dass der Würfel einen eigenen Willen hat und „sich im Entstehen der Versuchsergebnisse eines Zufallsexperiments ein Wesen mit

Bewußtsein autonom äußert“ (S. 30). Es gibt deshalb auch Stimmen gegen eine frühzeitige und ausgedehnte Verwendung von Würfeln im Stochastikunterricht der Primarstufe: die oft manifesten Fehlvorstellungen zum Auftreten von bestimmten Augenzahlen können in den Augen der Kinder noch eine zu große Rolle spielen, sodass stochastische Phänomene nicht durchdrungen werden können. Hilfreich für eine unvoreingenommene Herangehensweise wären an dieser Stelle Würfel ohne Augenzahlen, also die Verwendung von Würfeln mit farbigen Seitenflächen (Sill & Kurtzmann, 2019). Deshalb werden in der untersuchten Einheit nach dem Einstieg durch das Würfelspiel weitere Zufallsexperimente in den Blick genommen wie die eben genannten Würfeln mit farbigen Seitenflächen, Glücksräder, Lose etc.

Auf diese Weise können dann die von Eichler (2010) dargestellten Aspekte als Zielperspektive einer wünschenswerten Grundvorstellung angestrebt werden – einer Vorstellung, nach der es bspw. vorhersagbare und unvorhersehbare Ereignisse gibt, nach der die Gewinnchancen einer Regel die Wahrscheinlichkeit ihres Sieges bestimmt und nach der dem Zufall auf lange Sicht eine Gesetzmäßigkeit zugrunde liegt, die man durch Zufallsexperimente untersuchen kann. Durch eine solche Grundvorstellung kann von einer informellen und qualitativen zu einer mehr formellen und quantitativen Sichtweise gelangt werden (Hasemann & Mirwald, 2016), in der auch der Zufall sich in bestimmtem Maße rational meistern lässt (Neubert, 2012). Dieses Ziel kann durch Zufallsexperimente erreicht werden, die einen grundschuladäquaten Zugang zum Zufalls- und Wahrscheinlichkeitsbegriff bieten:

> Bei einfachen Zufallsexperimenten (mit Münzen bzw. Würfeln) können [die Kinder] die Anzahl aller möglichen Ereignisse auch mithilfe von kombinatorischen Überlegungen ermitteln und durch mehr oder weniger systematisches Zählen die Anzahl der günstigen Ereignisse bestimmen. Auf dieser Basis schätzen sie die Gewinnchancen auch quantitativ als das Verhältnis aller günstigen zu allen möglichen Fallen ein. (Schipper, 2011, S. 285)

Dieser Rationalität liegt die mathematische Theorie der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu Grunde (Neubert, 2012).

Zugänge zur Wahrscheinlichkeit

Aus den verschiedenen Möglichkeiten, den Wahrscheinlichkeitsbegriff zu beschreiben (Kap. 5.1.4), ergeben sich unterschiedliche Zugänge zur Wahrscheinlichkeit, die im Unterricht Verwendung finden können: der empirisch-statistische Zugang und der klassisch-kombinatorische Zugang (Neubert, 2012, S. 79ff.)

Beim empirisch-statistischen Zugang „wird über das Ermitteln und Vergleichen von Häufigkeiten eine Abschätzung für die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses gefunden“ (Neubert, 2012, S. 79). Hier werden Zufallsexperimente durchgeführt und durch das Festhalten und Auswerten von Daten untersucht. Dazu werden absolute Häufigkeiten bestimmt, dargestellt und analysiert (Hasemann & Mirwald, 2016). Dies geschieht im Radiobeitrag (und auch in der untersuchten Lernumgebung) durch das Spielen und Untersuchen des Würfelspieles. Zur Unterstützung werden in der Lernumgebung die Daten bzw. Spielergebnisse in Form einer Strichliste festgehalten (Kap. 5.1.7).

Auch an den klassisch-kombinatorischen Zugang wird in der Sendung angeknüpft. Diesem Zugang liegen der klassische Wahrscheinlichkeitsbegriff, die Laplace-Formel sowie theoretische Überlegungen zur Wahrscheinlichkeit von Ereignissen zugrunde: „Die Anzahl der günstigen Möglichkeiten für das Eintreten des gewünschten Ereignisses wird der Gesamtzahl aller Möglichkeiten gegenübergestellt“ (Neubert, 2012, S. 80). Dies geschieht sowohl im Radiobeitrag als auch in der untersuchten Lernumgebung durch das Eintragen aller möglichen Würfelkombinationen in die Tabelle sowie durch das Abzählen der günstigen Würfelkombinationen für Pasch und Straße. Auch wenn vielen Kindern theoretische Einschätzungen von Gewinnchancen noch schwerfallen und einige Autoren klar den empirisch-statistischen Zugang empfehlen (z.B. Hasemann & Mirwald, 2016), sollte nicht bei diesem Zugang stehen geblieben werden. Denn kombinatorische Überlegungen sind für die Lernenden nicht nur alltagsrelevant und abwechslungsreich, sondern können auch zu einer Entwicklung des Verständnisses von Brüchen hinführen (Neubert, 2012).

Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeit

Die verschiedenen Sprachebenen, die durch den Radiobeitrag vorgegeben werden, wurden im vorherigen Kapitel schon genauer untersucht. Für die fachdidaktische Analyse des Beitrages sollen nun zuerst die im Beitrag verwendeten Begriffe näher definiert und somit der fachwissenschaftliche Hintergrund der Unterrichtseinheit dargelegt werden. Die meisten stochastischen Begriffe werden sowohl in der Alltagssprache als auch in der Bildungssprache verwendet. Dabei ist zu beachten, „dass diese Wörter verschiedene Bedeutungen haben, die teilweise nicht mit der Bedeutung in einer stochastischen Situation übereinstimmen“ (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 63), sie sich also im Sinne der Polysemien nicht immer mit der fachsprachlichen Bedeutung decken. Bspw. trägt das Wort ‚unmöglich‘ neben der Bedeutung ‚nicht durchführbar‘ als Beschreibung eines Ergebnisses mit der Wahrscheinlichkeit 0 in der Alltagssprache auch die Bedeutung des Inakzeptablen oder von der Norm abweichenden

(Kunkel-Razum et al., 2007, S. 1768). Auch für die Beschreibung stochastischer Situationen lässt sich festhalten: „Beim Übergang von qualitativen Aussagen zu zunehmend quantitativen Betrachtungen kommt, wie generell beim Mathematiklernen, der Sprache eine besondere Bedeutung zu“ (Krauthausen, 2018, S. 173). Umso wichtiger ist das Erarbeiten und Durchdringen von stochastischen Begriffen in ihrer fachsprachlichen Bedeutung, die im Folgenden fachdidaktisch erörtert werden soll.

Zusätzlich zu den in der Radiosendung genannten Begriffen werden in der fachdidaktischen Literatur zusätzlich noch Begriffe wie ‚sicher‘, ‚möglich‘ und ‚unmöglich‘ thematisiert (z.B. Sill und Kurtzmann, 2019, S. 63), die jedoch in dieser Form keine Verwendung in der Radiosendung finden. Der Begriff ‚unmöglich‘ kommt gar nicht vor, ‚möglich‘ nur an einer Stelle („alle möglichen Kombinationen“, MF, Z. 151-151) und ‚sicher‘ wird nur im Sinne von ‚etwas genau wissen‘ verwendet („Nils ist sich nicht ganz sicher“, MF, Z. 41) und nicht im Sinne von einem mit Sicherheit eintreffenden Ergebnis. Öfter ist von ‚Möglichkeiten‘ die Rede („Wie viele Möglichkeiten gibt es für den Pasch und für die Straße?“, MF, Z. 142-143). Dieser Begriff wird von den Protagonist:innen eingeführt und in dem spielerischen Kontext für die verschiedenen Würfelkombinationen genutzt, die zu einem Ergebnis führen können. Stärker im Fokus stehen die Begriffe *Zufall, Wahrscheinlichkeit, Chance* und *fair*. Aufgrund ihrer abstrakten Bedeutungsebene schaffen sie auch einen stärkeren Klärungsbedarf. Die Darstellung der Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeit beschränkt sich an dieser Stelle also auf diese vier Hauptbegriffe der Radiosendung und der untersuchten Lernumgebung.

Dies steht im Einklang mit der Position von Sill und Kurtzmann (2019, S. 66), die in Aufgaben zum Identifizieren von sicheren oder unmöglichen Ergebnissen die Problematik eines konstruierten Charakters sehen, der einen falschen Eindruck von dem neuen Stoffgebiet erwecken kann und deshalb eine umfangreiche Unterrichtssequenz zur Unterscheidung sicherer, möglicher und unmöglicher Ergebnisse nicht für sinnvoll erachten.

Zufall

Die folgende Darstellung verschiedener Aspekte des Zufallsbegriffs gehen auf die Ausführungen von Sill & Kurtzmann (2019, S. 205–212) zurück: Auch wenn die Wahrscheinlichkeitsrechnung teilweise als ‚Wissenschaft des Zufalls‘ bezeichnet wird, lässt sich der Begriff ‚Zufall‘ nicht wie andere mathematische Begriffe definieren. Er trägt eine Bedeutungsvielfalt in sich, die in anderen Sprachen sichtbar wird, in denen dem deutschen Wort ‚Zufall‘ gleich mehrere Wörter entsprechen. Mögliche Bedeutungen sind z.B. die

Determiniertheit, Kausalität, Schicksal oder Variabilität. Im Alltag wird das Wort Zufall oft im Zusammenhang mit einem niedrigen Grad der Erwartung genutzt (ein sehr seltenes Ereignis tritt ein), verneinend bei einem hohen Grad der Erwartung („das war zu erwarten – das war Zufall"), in Bezug auf die Nichtvorhersehbarkeit eines Ereignisses oder in Bezug auf die Rolle von beteiligten Personen (Personen sind beteiligt am Ereignis, aber haben es nicht beeinflusst). Eines der gängigsten Aspekte ist die Gleichwahrscheinlichkeit, die besteht, wenn die Wahrscheinlichkeiten aller Ergebnisse eines Vorganges gleichwahrscheinlich sind. Dieser Aspekt ist grundlegend für die Ausbildung der Fachbegriffe ‚zufällige Auswahl' und ‚Stichprobe'.

Die Auseinandersetzung mit dem Zufallsbegriff in der Primarstufe sowie der Aufbau von Grundvorstellungen dazu haben für viele Autoren der didaktischen Literatur einen großen Stellenwert. Sill & Kurtzmann (2019) stellen jedoch dar, dass dies lediglich im Bereich der Glücksspiele gut umgesetzt werden kann und die richtige Verwendung des Begriffes deshalb nicht zu wichtig genommen werden soll. Im Fokus sollen stochastische Überlegungen und Einschätzungen zur Wahrscheinlichkeit von Ereignissen stehen. Eine Sammlung guter Aufgabenbeispiele dazu findet sich in Neubert (2012).

Wahrscheinlich(-keit)

Bereits vor Schuleintritt bauen Kinder Vorwissen zum Zufall und zur Wahrscheinlichkeit auf. Krauthausen betont, „dass bereits Vorschulkinder, weit vor einer bewussten oder gar institutionalisierten Fokussierung, Erfahrungen zu Zufall und Wahrscheinlichkeit gemacht haben, z.B. in Spielsituationen oder anderen Alltagserfahrungen (‚Wahrscheinlich bekomme ich ein ... zum Geburtstag')" (Krauthausen, 2018, S. 169). Hier wird noch nicht über den formalen Aspekt des Begriffes verfügt, also z.B. Wahrscheinlichkeiten als Zahlen zwischen 1 und 0 aufgefasst; wohl aber über den inhaltlichen Aspekt der Beschreibung des Eintretens von Ergebnissen (Kurtzmann & Sill, 2013).

> Mit (solchen) inhaltlichen Aspekten kann beim Schüler ein präformaler Wahrscheinlichkeitsbegriff aufgebaut werden, der sich dann im weiteren Verlauf der Entwicklung des Begriffs durch die formalen Aspekte anreichern lässt. (S.44)

In der Alltagssprache wird der Wahrscheinlichkeitsbegriff durch die Verwendung der Begriffe ‚wahrscheinlich', ‚unwahrscheinlich' und ‚sicher' genutzt. Auch Wahrscheinlichkeits-vergleiche (ein Ereignis ist (un)wahrscheinlicher als ein anderes) finden hier Verwendung. Dies ist hilfreich für Begriffsbildungsprozesse, da der Eigenschaftsbegriff ‚wahrscheinlich' an sich nicht definiert werden kann. Für die in der Fachwissenschaft (und Alltagssprache) verwendeten

Relationsbegriffe ‚wahrscheinlicher' und ‚am wahrscheinlichsten' ist dies jedoch über den Vergleich von Wahrscheinlichkeiten möglich (Sill & Kurtzmann 2019, S. 72). Auch in der Radiosendung wird der Relationsbegriff „wahrscheinlicher" genutzt (z.B. MV, Z. 185) und soll deshalb auch in der Lernumgebung aufgegriffen werden.

Die Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeit können genutzt werden, um den Vergleich von Ereignissen hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit zu beschreiben. Wenn durch den Vergleich deutlich wird, dass „ein Ergebnis wahrscheinlicher ist als ein anderes, bedeutet dies, dass beide Ergebnisse möglich sind, eines aber mit einer größeren Wahrscheinlichkeit eintreten kann als andere" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 71). Um Aufgabenstellungen zu präzisieren, kann die sprachliche Formulierung ‚eher' genutzt werden, welche dem Begriff ‚wahrscheinlicher' entspricht (Kunkel-Razum et al., 2007, S. 447). Beispielsweise: „Frisst ein Kaninchen eher eine Mohrrübe oder eine Kartoffel?" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 71). Allerdings ist das Wort ‚wahrscheinlich' allein tatsächlich kein Fachbegriff der Wahrscheinlichkeitsrechnung und man kann nicht von einem „wahrscheinlichen Ergebnis" sprechen (Hasemann & Mirwald, 2016, S. 154). Die Bedeutung des Wortes ‚Wahrscheinlichkeit' als Grad der Sicherheit über das Eintreten eines künftigen Ereignisses kann hier zur Begriffsklärung herangezogen werden. Der Begriff ‚wahrscheinlich' kann also umschrieben werden mit: „Etwas tritt mit großer/ ziemlicher Sicherheit ein", „Es ist zu erwarten, dass etwas eintritt" oder „Es trifft eher zu" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 76). Die gegensätzlichen Formulierungen umschreiben den Begriff ‚unwahrscheinlich' (z.B. Es ist nicht zu erwarten, dass etwas eintritt) (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 76). Schulbücher fügen oft noch die Begriffe ‚häufig' und ‚selten' ein. Im Arbeitsheft ‚Daten Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit 1/2' des Schulbuches ‚Denken und Rechnen' beispielswise wird ein Wortspeicher für das Beschreiben und Interpretieren von Wahrscheinlichkeiten mit ebendiesen Ergänzungen sowie einer Veknüpfung zum Begriff ‚möglich' vorgegeben (Altmann, Hentschel & Kurtzmann, 2017, S. 27)

Wenn von Gleichwahrscheinlichkeit die Rede ist, dann ist damit gemeint, dass das Eintreten zweier (oder mehrerer) Ereignisse genauso wahrscheinlich oder unwahrscheinlich ist (Sill und Kurtzmann, 2019). Da viele Kinder den Prozentbegriff bereits aus dem Alltag kennen, ist je nach Vorkenntnissen der Lerngruppe auch die Bezeichnung 50 % als Gleichwahrscheinlichkeit möglich – ebenso wie die Formulierung ‚fifty -fifty' oder 1:1. Damit ist jedoch das Problem verbunden, dass es sich hier eigentlich um die Angabe von Chancen handelt (Sill und Kurtzmann, 2019). Ein weiteres Problem liegt darin, dass sich die Bestimmung von Gleichwahrscheinlichkeiten nicht verallgemeinern lässt.

> In dem Fall des Werfens der Münze bedeutet „gleich wahrscheinlich“, dass die Wahrscheinlichkeit zu gewinnen genauso groß ist wie nicht zu gewinnen und deshalb 0,5 beträgt. (…) Beim Werfen eines Würfels sind die Wahrscheinlichkeiten für eine Fünf oder eine Sechs gleich groß. Beide Ergebnisse sind also gleich wahrscheinlich, ohne dass die Wahrscheinlichkeit 0,5 beträgt. (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 130)

Wie oben schon dargestellt ist der Gegenstand der Leitidee ‚Daten und Zufall‘ jedoch keinesfalls der formale Aspekt des Wahrscheinlichkeitsbegriffes oder die Wahrscheinlichkeitsrechnung, sondern der inhaltliche Aspekt der Wahrscheinlichkeit als eine Möglichkeit der Beschreibung des Eintretens von Ergebnissen.

Chance

Oftmals werden in Unterrichtsvorschlägen und auch in der fachdidaktischen Literatur die Begriffe ‚Wahrscheinlichkeit‘ und ‚Chance‘ fälschlicherweise synonym verwendet (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 229) – so auch in der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* (hier wird zusätzlich sogar noch der Begriff „Möglichkeit“ synonym verwendet (MF, Z. 225-230). Dies mag daran liegen, dass diese synonyme Verwendung in der Umgangssprache recht üblich ist. Tritt ein Ereignis mit großer Wahrscheinlichkeit ein, spricht man umgangssprachlich von guten Chancen. Ist die Wahrscheinlichkeit gering, spricht man auch von geringen oder schlechten Chancen. Mathematisch gesehen beschreiben die Chancen (engl. ‚odds‘) für das Eintreten eines Ereignisses A jedoch „das Verhältnis der Wahrscheinlichkeit von A zur Wahrscheinlichkeit des Gegenereignisses“ (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 229) und werden als Quotenverhältnis (Odds-Ratio) angegeben:

$$O(A) = \frac{P(A)}{P(\overline{A})} = \frac{P(A)}{1 - P(A)}$$

Hier wird das Verhältnis der günstigen zu den ungünstigen Fällen dargestellt. Beim Würfeln einer 6 stehen einem günstigen Ergebnis fünf ungünstige entgegen. Somit beträgt das Quotenverhältnis also 1:5. Dieser Perspektive entspräche auch die Formulierung „fifty-fifty“ (Schipper, 2011, S. 285) also einer Gewinnwahrscheinlichkeit von 50 % für beide Ereignisse. Mit der Wahrscheinlichkeit hingegen wird die Vorstellung von Anteilen beschrieben. Beim Würfeln einer sechs ist einer von sechs möglichen Fällen günstig – das Verhältnis in Anteilen beträgt also 1:6. Mathematisch gesehen beschreiben die Begriffe Wahrscheinlichkeit und Chance also zwei unterschiedliche Werte, die jedoch zusammenhängen:

> Ist die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses klein bzw. groß, so sind auch die Chancen für dieses Ereignis klein bzw. groß. Gilt 0(A) = O(B) so ist auch P(A) = P(B), d. h., bei gleichen Gewinnchancen sind auch die Gewinnwahrscheinlichkeiten gleich. Um zu beurteilen, ob ein Spiel fair ist, müssen also nur die Gewinnchancen der Spieler verglichen werden. (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 230)

Genau das geschieht in der Untersuchung des Würfelspieles – sowohl in der Radiosendung als auch in der eigenen Untersuchung der Schüler:innen. Mit der Angabe von Chancen können die Wahrscheinlichkeiten von Pasch und Straße durch ihr Quotenverhältnis zueinander (O = 6 : 10) quantitativ charakterisiert werden, ohne dass dazu der Bruchbegriff benötigt wird. Tatsächlich ist es für Schüler:innen einfacher und intuitiver, „in einer realen Situation das Verhältnis von günstigen zu ungünstigen Ergebnissen zu erkennen als das Verhältnis der günstigen Ergebnisse zu allen Ergebnissen" (Sill & Kurtzmann, 2019, S. 231). Schipper (2011) hingegen betont, dass im Kontext von Wahrscheinlichkeiten die Beschreibung von Chancen im Sinne von Anteilen sowohl historisch als auch international üblich sei und deshalb in der Grundschule diese Form genutzt werden soll, um Wahrscheinlichkeiten als das Verhältnis von günstigen und möglichen Anteilen zu beschreiben (Schipper, 2011). Diese synonyme Verwendung der Begriffe bringt jedoch Schwierigkeiten mit sich. Deshalb schlagen Sill und Kurtzmann (2019, S. 135) vor, die Begriffe ‚Chance' und/oder ‚Gewinnchance' zu vermeiden und stattdessen zu fragen, welches Ereignis am wahrscheinlichsten ist. Da der Begriff ‚(Gewinn-)Chance' im Radiobeitrag *Wann ist ein Spiel fair?* häufig verwendet wird und der Vergleich von Chancen in der Primarstufe leichter ist als der Vergleich von Wahrscheinlichkeiten, wird in dieser Arbeit keine Vermeidung des Begriffs vorgenommen, sondern seine alltagssprachliche und intuitive Bedeutung des Verhältnisses von günstigen zu ungünstigen Ergebnissen forciert.

Fair

Mit dem Begriff ‚fair' wird alltagssprachlich ein Verhalten beschrieben, dass den Regeln des Zusammenlebens oder den Spielregeln entspricht und als ‚gerecht' gewertet werden kann (Kunkel-Razum et al., 2007, S. 546). Im Kontext eines (Glücks-)Spiels wird mit diesem Begriff eine Situation beschrieben, in der alle Beteiligten von Anfang an gleich große Gewinnchancen haben. Dies kann zum einen dadurch gesichert werden, dass für alle Beteiligten gültige Regeln aufgestellt werden, die Ungleichheiten so gut wie möglich vermeiden. Zum anderen können die Voraussetzungen des Spiels daraufhin geprüft werden, ob sie Benachteiligungen generieren könnten (Neubert, 2012). Eine dieser Voraussetzungen ist ein fairer Zufallsgenerator. Der „faire Würfel" (Neubert, 2012, S. 85) zeichnet sich bspw. durch die „Gleichwahrscheinlichkeit für

das Auftreten der einzelnen Augenzahlen“ aus – ebenso wie die „ideale Münze“ (Neubert, 2012, S. 84), bei der beide Ergebnisse gleichwahrscheinlich und die Ereignisse somit zufällig sind. Die Begriffe ‚fair‘ und ‚ideal‘ können somit als Synonyme gesehen werden. Wenn die Protagonist:innen der Radiosendung fragen „Ist das (Spiel) denn fair für mich?“ (MF, Z. 43), lässt sich das also übersetzen in:

- Ist das gerecht für mich?
- Ist das eine ideale Spielsituation?
- Haben alle Spieler oder möglichen Ausgänge die gleichen Chancen?
- Besteht hier eine Gleichwahrscheinlichkeit für beide Ergebnisse?

Hinter dem vagen Begriff ‚Fairness‘ verbirgt sich also das Konzept der Gleichwahrscheinlichkeit, welches im Mathematikunterricht der Primarstufe untersucht werden kann (Neubert, 2012). Diese Untersuchung findet sowohl in der Sendung als auch in der untersuchten Lernumgebung statt.

5.1.6 Methodisch-didaktische Schlussfolgerungen

Für den Einsatz der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* im Mathematikunterricht lassen sich verschiedene methodisch-didaktische Schlussfolgerungen ziehen, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

Generelle Eignung des Beitrages

Zuerst einmal lässt sich festhalten, dass kaum Vorkenntnisse zum Thema nötig sind, weshalb der Radiobeitrag gut als Einführung in das Thema der Wahrscheinlichkeit genutzt werden kann. Vom Hessischen Rundfunk sind als Zielgruppe Kinder im Alter von 8-13 Jahren vorgesehen. Dies entspräche einer Eignung für die Klassenstufe 2-6. Grundvorstellungen zur Wahrscheinlichkeit können und sollen bereits im Anfangsunterricht aufgebaut werden. Schwerpunkt für die Behandlung sollte laut Sill und Kurtzmann (2019, S. 59) in der Klassenstufe 2 liegen: Hier sollen die Schüler:innen mit dem Begriff ‚wahrscheinlich‘ sowie dem Vergleichen und Beschreiben von Wahrscheinlichkeiten vertraut gemacht werden und dadurch stochastische Betrachtungs- und Sprechweisen aufbauen. Die grundlegende Eignung dieser Sendung für die vom Hessischen Rundfunk festgelegte Zielgruppe und damit die Klassenstufe 2-6 kann also bestätigt werden. Je nach Klassenstufe, in der die Sendung eingesetzt werden soll, muss dann selbstverständlich der Unterricht, zusätzliche Materialien und Aufgaben in ihrem Schwierigkeitsgrad an das Niveau dieser Zielgruppe angepasst werden.

Doch nicht nur inhaltlich, sondern auch sprachlich müssen auditive Medien zum Niveau der Zielgruppe passen (Ordolff & Wachtel, 2014). Dass auch die sprachliche Passung für die Klassenstufe 2-6 gegeben ist und wie differenziert auf sprachliche Besonderheiten eingegangen werden kann, wurde in der sprachlichen Analyse (Kap. 5.1.3) ausführlich dargestellt.

Da der Beitrag mit einer Länge von 12 Minuten nicht der Aufmerksamkeitsspanne von Grundschülerinnen und Grundschülern entspricht und sich wie oben beschrieben an einigen Stellen eine hohe Informationsdichte vorfinden lässt, muss er im Sinne des Segmenting Principle (Mayer & Pilegard, 2014) in einzelne kürzere Sequenzen bzw. Sinneinheiten unterteilt werden, die eine Länge von zwei Minuten nicht überschreiten sollten und an verschiedenen Stellen der Unterrichtseinheit didaktisch sinnvoll und passend eingesetzt werden können.

Struktur der Inhalte und didaktische Reduktion

Da die mathematischen Inhalte in dieser Sendung in einer Rahmengeschichte verpackt wurden, hat der Beitrag einen roten Faden und somit Struktur. In der klaren Struktur spiegeln sich außerdem die didaktischen Vorschläge zur Arbeit mit Zufallsexperimenten wider: Problemstellung, Schätzen/ Vermutung, Planung & Durchführung des Experimentes, Auswertung, Transfer (angelehnt an Sill & Kurtzmann, 2019, S. 140f.; S. 154f.). Die Rezipient:innen durchlaufen gemeinsam mit den Protagonist:innen diese Schritte, weshalb die einzelnen Sequenzen des Beitrages gut in chronologischer Reihenfolge im Unterricht eingesetzt werden können und einen geeigneten Aufbau der Inhalte vorgeben.

Das in der Sendung vorgestellte Zufallsexperiment (Würfeln mit zwei Würfeln) eignet sich gut, um die Vorstellungen der Lernenden über Wahrscheinlichkeiten weiterzuentwickeln. Es bietet sich an und ist zu empfehlen, die praktisch durchführbaren Elemente der Handlung in möglichst ähnlicher Form mit der Lerngruppe nachzuempfinden. Dies kann in Form einer eigenständigen Durchführung und Auswertung des Glücksspieles sowie dem eigenen Generieren einer großen ‚Klassen-Stichprobe' geplant werden. Während der Untersuchung des Glücksspieles können Vermutungen aufgestellt, Irritationen provoziert und Erkenntnisprozesse angeregt werden. So können die Lernenden von „subjektiven und intuitiven kindlichen Vorstellungen über die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen zu mehr objektiven und in einfachen Spielsituationen auch quantitativen Einschätzungen" geführt werden (Schipper, 2011, S. 284).

Am Ende der Sendung schlägt der Protagonist Laurenz ein neues (angeblich faires) Glücksspiel vor. Dies bietet eine gute Vorlage zur Weiterarbeit und kann als Anstoß genutzt werden, auch andere Spiele auf ihre Fairness zu überprüfen. Die Thematik der

Wahrscheinlichkeit wird so ausgeweitet und es bietet sich Spielraum für weitere Transferaufgaben. Durch diese Vertiefung können die von Eichler (2010) dargestellten gewünschten Aspekte als Zielperspektive einer wünschenswerten Grundvorstellung angestrebt und gefestigt werden.

Didaktisch reduziert werden muss bei dem Einsatz der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* nur im Hinblick auf das ‚Gesetz der großen Zahlen'. Während der Untersuchung des Würfelspieles schlägt die Sprecherin vor: „Man könnte 1000-mal würfeln, dann würde man auch sehen, welches Ergebnis häufiger ist" (MF, Z. 120f.). Es folgen Würfelgeräusche der Kinder und die Nachschübe, dass man besser noch 2000 oder 10.000 Mal würfeln sollte (MF, Z. 122-134). Dieser Vorschlag ist zwar gerechtfertigt, da das empirische Gesetz der großen Zahlen besagt, dass bei einem realen Vorgang, der unter gleichen Bedingungen sehr oft wiederholt wird, die Schwankungen der relativen Häufigkeit eines Ergebnisses immer geringer werden und die relative Häufigkeit nach einer großen Zahl von Wiederholungen als Näherungswert für die Wahrscheinlichkeit des Ergebnisses verwendet werden kann (Sill & Kurtzmann, 2019). Diese Erkenntnis ist jedoch an die Kenntnis von großen Zahlen sowie die Fähigkeiten zum sicheren Zählen in diesen Zahlräumen gebunden und deshalb nicht für die Klassenstufe zwei oder drei geeignet. In einer vierten Klasse sind die Zahlräume zwar bekannt, jedoch ist die praktische Durchführung des Würfelns bis 10.000 weder sinnvoll noch machbar. Aus diesem Grund sollte die Sequenz zum Empirisches Gesetz der großen Zahlen im Sinne der diaktischen Reduktion nicht mit in eine geplante Einheit aufgenommen werden.

Zusätzliches Material

Für das Abspielen der Sendung im Plenum kann ein Laptop mit Lautsprecher oder das Whiteboard genutzt werden. Selbst das Verbinden eines Smartphones mit einem Blootooth-Speaker ist möglich, sodass eine einfache Handhabung für die Lehrkraft gesichert ist. Weiterhin sollte den Lernenden die eigenständige Arbeit mit den auditiven Medien ermöglicht werden, um die fachdidaktischen Potenziale voll auszuschöpfen. Hier können iPads oder einfache Diktiergeräte, auf welche Audios aufgespielt werden können, dezentralisiert in Partner- oder Gruppenarbeitsphasen eingesetzt werden. Auf diese Weise kann auch die Medienkompetenz der Lernenden gefördert werden. Um das selektive Entnehmen relevanter Informationen aus den auditiven Medien zu unterstützen und eine Möglichkeit zur Ergebnissicherung zu bieten, sollten Höraufträge nach den in Kapitel 3.4.1 vorgestellten Kriterien entwickelt werden. Beispielsweise können Arbeitsblätter mit einer vorgefertigten Punkte-Tabelle als Hörauftrag zu

der Sequenz, in der das Würfelspiel ausprobiert wird, hineingeben werden und so eine aktive Arbeitsphase anregen und die Erprobung des Spiels unterstützen.

Weiterhin gibt es wie schon erwähnt Sequenzen, wie bspw. die Erklärung des Arbeitsauftrages zu den Würfelkombinationen, die zu schnell erfolgen und zu viele (möglicherweise unbekannte oder noch nicht gefestigte) Begriffe beinhalten (MF, Z. 146-150: „Zeile“, „Spalte“, „Kombination“, viele Zahlen). Hier muss den Rezipient:innen die Möglichkeit gegeben werden, den Auftrag richtig zu verstehen und bestenfalls auch nachzuempfinden, also mitzumachen. Auch dazu muss die Sendung im Sinne des Segmenting Principle (Mayer & Pilegard, 2014) in kleinen Sequenzen dargeboten und kleinschrittig vorgegangen werden. Hier bietet es sich an, gemeinsam eine Tabelle zu erstellen oder zumindest die Begriffe *Zeile* und *Spalte* anhand einer beispielhaften Tabelle nochmal in Ruhe zu besprechen, bevor mit dem Arbeits- oder Hörauftrag begonnen wird. Die Arbeit in der Tabelle, also das Aufzeichnen aller möglichen Würfelkombinationen, kann dann als geordnete Darstellung der gefundenen Lösungen ein wichtiger Schritt auf dem Weg der Entwicklung eines systematischen Vorgehens sein (Schipper, 2011). Die Darstellungsweise und Systematik einer Tabelle kann durch das Freibleiben von Zellen oder das Erkennen von Mustern auch helfen, auf noch fehlende Lösungen aufmerksam zu werden. „Wenn geprüft werden soll, ob alle Lösungen gefunden sind, dann müssen die vorhandenen geordnet dargestellt werden“ (Schipper, 2011, S. 282). Durch die Darstellungsweise der Tabelle kann der Lernende also Hinweise bekommen – in diesem Fall Hinweise darauf, ob alle (oder die richtigen) Würfelkombinationen gefunden wurden.

Die Nutzung von Würfeln mit unterschiedlichen Farben – wie im Beitrag mit blau und weiß gegeben – kann außerdem die Kommutativität sichtbar machen. Es sollte hier also sichergestellt werden, dass auch die Lernenden mit zwei verschiedenfarbigen Würfeln arbeiten können.

Möglichkeiten zur fachbezogenen Sprachförderung

Wie schon in der mediendidaktischen und der sprachlichen Analyse detailliert dargestellt, enthält die Sendung einige hilfreiche Elemente zur Unterstützung der auditiven Informationsverarbeitung. Die Sprache ist auf das Hören abgestimmt, wichtige Begriffe werden authentisch und im lebensweltlichen Kontext eingeführt sowie durch Soundeffekte gekennzeichnet und hervorgehoben, sodass die Rezipient:innen sie leichter herausfiltern können. Im regulären Stochastikunterricht hat „die Lehrkraft (…) die Aufgabe, relevante Begriffe wie ‚Kombination‘, ‚Möglichkeit‘, ‚verschieden‘ usw. hervorzuheben und zu betonen“

(Voigt, 2019, S. 20). In der der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* geschieht dies quasi von selbst. Die Lehrkraft muss neu zu lernende Begriffe also nicht einfach vorgeben oder ohne Kontext einführen. Das Medium mit seiner Rahmengeschichte und dem authentischen Sprachgebrauch übernimmt diese Aufgabe.

Trotzdem müssen die verwendeten Begriffe anschließend in sorgfältiger Begriffserarbeitung wiederholt, vertieft und gefestigt werden. Hier empfiehlt sich die Erarbeitung relevanter Begriffe durch eine intensive Wortspeicherarbeit (z.B. Verboom, 2017; Götze, 2015; Kap. 4.4.4). Bei der Entwicklung eines gemeinsamen Wortspeicherplakates empfiehlt es sich hier, nicht zwingendermaßen die korrekten mathematischen Definitionen neuer und wichtiger Begriffe auf das Plakat zu notieren, sondern Umschreibungen zu nutzen, die von den Schüler:innen geäußert wurden und somit an den Leistungsstand der Lerngruppe angepasst sind. Beispielsweise kann der Begriff „Zufall" mit dem Ausdruck „nicht wissen und nicht bestimmen können, was passiert" umschrieben werden. In der Festigungsphase können die neuen Begriffe außerdem „durch geeignete Beispiele aus der Aufgabe bzw. durch Bilder und Darstellungen erweitert werden" (Voigt, 2019, S. 21). Die Definition für Pasch und Straße kann z.B. auch ikonisch erfolgen (siehe Analyse 01).

Gerade nach dem ersten Hören der Sequenzen ist es außerdem wichtig, immer wieder Aufforderungen zum Sprechen zu geben (den Inhalt wiederholen lassen, Verständnisfragen klären etc.). Dies ist zum einen nötig, um als Lehrkraft einen Eindruck davon zu bekommen ob das Gehörte verarbeitet werden konnte, und um zu entscheiden, ob eine zweite Rezeption nötig ist. Zum anderen ist die Aufforderung zum Sprechen von großer Relevanz für den sprachsensiblen Mathematikunterricht: „Durch wiederholendes Sprechen in Bezug auf die Aufgabenstellung können (die Lernenden) sich mathematische Begriffe besser einprägen" (Voigt, 2019, S. 21). Auch eine durch die Sendung provozierte Diskussion im Plenum über die Fairness des Würfelspieles sowie der Austausch in Partnerarbeitsphasen bei der Untersuchung alternativer Würfelspiele kann in diesem Sinne als wiederholendes Sprechen zum Einschleifen der durch den Beitrag angeregten Begriffe führen. Im Rahmen der Untersuchung der Glücksspiele in Partnerarbeit können außerdem argumentative Satzmuster eingeführt und auf dem Wortspeicher festgehalten werden. Während der Präsentation und Diskussion der Ergebnisse können der Wortspeicher sowie eigene Schreibprodukte aus der Arbeitsphase (z.B. Analyse 09 und 10) dabei unterstützen, diese argumentativen Satzmuster zu festigen.

5.1.7 Darstellung der Lernumgebung

Im Folgenden sollen die angestrebten Lernziele sowie der Aufbau der untersuchten Einheit aus fachdidaktischer Perspektive beschrieben sowie methodische Überlegungen begründet werden.

Angestrebte Kompetenzen

Sill und Kurtzmann (2019) schlagen für die Darstellung der zu entwickelnden Kompetenzen in der Primarstufe die Bezeichnung „Entwicklungslinien des Wissens und Könnens“ (S. 30) vor – und mit ihnen einen stufenweisen Aufbau stochastischen Wissens und Könnens ab Klasse 1. Die folgende Ausführung bezieht sich auf ihre Darstellung dieser Entwicklungslinien (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 32–33). Da nicht alle der dort beschrieben Teilbereiche Gegenstand der untersuchten Lernumgebung sind, sollen hier verkürzt nur fünf der sieben Teilbereiche – und dort auch nur die tatsächlich angestrebten Kompetenzen – dargestellt werden. Die Autoren unterscheiden hier zwischen Anfangsunterricht (Klasse 1 und 2) sowie dem weiterführenden Unterricht (Klasse 3 und 4): Dies ist insofern relevant, da die Lernumgebung sowohl in Klasse 2 als auch in Klasse 4 untersucht wurde. Es mussten also sowohl die Entwicklungslinien des Anfangsunterrichtes als auch die des weiterführenden Unterrichts beachtet, daraufhin die anzustrebenden Kompetenzen bestimmt sowie die Unterrichtsinhalte an diese angepasst werden.

Kompetenzen der verschiedenen Teilbereiche

(1) Prozessbetrachtung stochastischer Situationen:
- Erkennen möglicher Ergebnisse eines Vorgangs

(2) Erstellen und Lesen von Listen und Tabellen:
- Erfassen von Daten in Strichlisten
- Lesen von Strichlisten und einfachen Häufigkeitstabellen

(5) Vergleichen von Wahrscheinlichkeiten:
- Anfangsunterricht:
  - Vergleich von Wahrscheinlichkeiten mit ersten verbalen Interpretationen
- Weiterführender Unterricht:
  - Begründen der Entscheidung des Wahrscheinlichkeitsvergleichs
  - Vergleichen der Gewinnwahrscheinlichkeiten einfacher Glücksspielen

(6) Schätzen und Interpretieren von Wahrscheinlichkeiten
   - Entwicklung von Vorstellungen zu den Begriffen „wahrscheinlich“ „unwahrscheinlich“, „sicher“, „unmöglich“
   - aus vorhandenen Daten Schlussfolgerungen auf die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Ergebnisse ziehen

(7) Erkennen und Beschreiben stochastischer Zusammenhänge
   - Erkennen und Beschreiben der Änderung von Wahrscheinlichkeiten von Ergebnissen durch Veränderung von Bedingungen

Wie schon in Kapitel 4 dargestellt, gehen mathematische und sprachliche Lernziele im Unterricht Hand in Hand und sollen deshalb auch hier nicht getrennt voneinander, sondern miteinander verknüpft dargestellt werden:

Zu (1): Durch die Situation in der Radiosendung wird die Möglichkeit eines Würfelspiels zur Ermittlung eines Siegers vergegenwärtigt. „Die Schüler:innen erleben und erkennen, dass es bei vielen Vorgängen in ihrem Alltag und in der Natur verschiedene mögliche Ergebnisse gibt“ (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 59). Das im Beitrag vorgestellte Spielprinzip muss von den Lernenden für die weitere Erarbeitung durchdringen werden. Hierfür muss das erste sprachliche Ziel, das inhaltliche Erfassen der Begriffe *Pasch* und *Straße,* erreicht werden.

Zu (2): Durch Beobachtungen, Untersuchungen und einfache Experimente (empirisch-statistischer Zugang, Neubert, 2012) sollen Daten erfasst und in Tabellen, Schaubildern und Diagrammen dargestellt, also verwertbar notiert werden (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 15). Im vorliegenden Fall sollen außerdem in einem zweiten Schritt die Ergebnisse der Klasse in einer gemeinsamen Tabelle gesammelt und daraus erste Schlussfolgerungen gezogen werden (klassisch-kombinatorischer Zugang, Neubert, 2012). In einem zweiten Schritt sollen die Lernenden mithilfe einer Tabelle eine exakte Auflistung aller Möglichkeiten eines Wurfes mit zwei Würfeln anfertigen und aufgrund dieser Daten analysieren, wie viele Möglichkeiten es gibt, um Pasch oder Straße zu würfeln. Ihre Ergebnisse sollen sie dann auf die ursprüngliche Frage nach der Fairness des Spiels beziehen und diese damit bewerten. Auf diese Weise kann das Problem, eine stochastische Frage, aus einer Kombination aus einem empirisch-statistischem (dem spielerisch-experimentellen) Weg und dem klassisch-kombinatorischen Zugang gelöst werden. Diese praktische Zugangsweise kann den Lernenden helfen, den Lösungsweg besser zu verstehen, und kann gleichzeitig zu einer gewissen Freude beim Umgang mit der stochastischen Aufgabe beitragen.

Zu (5): Bei der Durchführung von Zufallsexperimenten sollen die Lernenden die Wahrscheinlichkeiten der Ergebnisse vergleichen. Sill und Kurtzmann (2019) betonen, dass ausgehend von den Vorkenntnissen der Lernenden zum Begriff *wahrscheinlich* an Beispielen erarbeitet werden soll, „dass ein mögliches Ergebnis wahrscheinlicher ist als ein anderes und im Sonderfall auch gleich wahrscheinlich sein kann“ (S. 59). Dieses Vergleichen von Wahrscheinlichkeiten sollte bereits mit ersten verbalen Begründungen und Interpretationen erfolgen.

Zu (6): Die Gewinnchancen von Ereignissen in Zufallsexperimenten sollen geschätzt sowie Wahrscheinlichkeiten verglichen und bewertet werden. Hier gehen wieder sprachlichen Kompetenzen wie der sichere Umgang mit Begriffen wie *unmöglich, fair, Zufall* oder *wahrscheinlich* bzw. *Wahrscheinlichkeit* einher.

> Im Anfangsunterricht beschränken wir uns auf die zwei qualitativen Beschreibungen „wahrscheinlich“ und „unwahrscheinlich“. Sie decken jeweils die Hälfte des Intervalls ab. Das Wort „wahrscheinlich“ kann bei einer entsprechenden Wahl von Beispielen in seiner umgangssprachlichen Bedeutung als etwas, was mit ziemlicher Sicherheit eintrifft, verwendet werden. Auch hier sollten erste Begründungen in verbaler Form erfolgen. (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 60)

Unter der Verwendung von Fachbegriffen sollen also eigenständig begründete Vermutungen über die Fairness von Spielen getroffen werden.

Zu (7): Im letzten Schritt soll das erworbene Wissen über Wahrscheinlichkeit und Fairness auf andere Beispiele transferiert werden. An einfachen Beispielen werden die Lernenden mit dem Einfluss von Bedingungen auf die Wahrscheinlichkeit von Ergebnissen vertraut gemacht (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 59). In der untersuchten Lernumgebung geschieht dies anhand der alternativen Glücksspiele, in denen die Bedingungen variiert werden können (Anzahl der Karten einer Farbe im Spiel, Anzahl der Nieten in der Urne etc.). Sie können die Bedingungen selbst verändern und somit ihren Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit der Ergebnisse enaktiv erkunden und untersuchen.

Es wird also fortwährend der Erwerb der inhaltsbezogenen mit der Entwicklung der allgemeinen mathematischen Kompetenzen verbunden (Eichler, 2010; siehe Kap. 5.1.5). Während der Erarbeitung der Wortspeicher entwickeln die Lernenden außerdem ihre Medienkompetenz weiter, indem sie selbständig mit den Audios auf dem iPad umgehen, den auditiven Medien relevante Informationen entnehmen sowie ihre Ergebnisse strukturiert auf einem Plakat festhalten.

Verlaufsplan und methodische Überlegungen

Die untersuchte Unterrichtseinheit stellt eine 4-stündige Lernumgebung (Tab. 3) zum Thema Wahrscheinlichkeit und Zufallsexperimente dar, in dessen Zentrum der Radiobeitrag *Wann ist ein Spiel fair?* steht, der wie oben beschrieben mathematische bzw. stochastische Inhalte und Begriffe einführt und in eine authentische Situation einbettet. Die Einheit wurde thematisch um den Handlungsstrang der Sendung herum entwickelt, damit die Lernenden möglichst viele praktische Erfahrungen sammeln können. Dazu wurde der Beitrag in kindgerechte Sequenzen gecuttet und diese in chronologischer Reihenfolge an verschiedenen Stellen der Einheit den Lernenden dargeboten. Die Sequenzen enthalten viele praktische Elemente, die von einer Lerngruppe unter Anleitung ohne Probleme durchgeführt werden können (bspw. das Spielen des Würfelspiels, das Sammeln der daraus entstandenen Daten oder das Erstellen einer vollständigen Würfeltabelle). Sie dienen zum einen dem Vorantreiben der Handlung, dem Generieren neuer Ideen sowie der Beschreibung und Erklärung der Aufgaben. Aber auch mathematische Inhalte und Begriffe werden auf diese Weise vermittelt.

Zu Beginn wird gemeinsam die erste Sequenz des Beitrages gehört, in dem die Protagonist:innen, Kinder einer Grundschulklasse, über die Fairness eines Würfelspieles streiten, mit dessen Hilfe sie entscheiden wollen, wer von ihnen den Dreck in der Klasse aufkehren soll. Das Würfelspiel stellt ein Zufallsexperiment dar, welches in spielerisch-experimenteller Methode von den Lernenden in mehreren Schritten erprobt, untersucht und bewertet werden soll (Hessisches Kultusministerium, 2011). (Zufalls-)Experimente zeichnen sich laut Sill und Kurtzmann (2019) dadurch aus, dass Vorgänge unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden und nach Ablauf dieser Vorgänge die Ausprägung bestimmter Merkmale untersucht wird. Experimente zu stochastischen Vorgängen seien in der Primarstufe im Glücksspielbereich möglich, da hier die Bedingungen leicht zu kontrollieren, die Vorgänge nur von kurzer Dauer und die Ergebnisse einfach zu erfassen sind (Sill und Kurtzmann, 2019).

Einstieg	- Rezeption des ersten Teils der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* - Aufwerfen der Problematik
Sprachliche und mathematische Erarbeitung	- Nachspielen des Würfelspieles aus dem Beitrag: erste Vermutungen über die Fairness anstellen - Eigenständige Entwicklung eines Wortspeichers in Partnerarbeit mithilfe von Sequenzen der Radiosendung - Rezeption weiterer Teile der Radiosendung hinführend zur Untersuchung des Würfelspieles: - Welche Kombinationsmöglichkeiten gibt es insgesamt? - Wie viele Kombinationsmöglichkeiten gibt es für Pasch und für Straße? - Vermutungen überprüfen
Vertiefung & Transfer	- Rezeption des letzten Teils der Radiosendung - Untersuchen weiterer Glücksspiele auf ihre Fairness und Gewinnchancen in Partnerarbeit - Förderung der prozessbezogenen Kompetenz ‚mathematisches Argumentieren' mithilfe von vorstrukturierten Arbeitsblättern
Sicherung	- Präsentation der Untersuchungsergebnisse - Abschlussdiskussion

Tab. 3. Darstellung der Lernumgebung ‚Wahrscheinlichkeit und Zufallsexperimente'

Zwischen den einzelnen Schritten der Erprobung und Untersuchung des Zufallsexperimentes werden immer wieder weitere Teile des Radiobeitrags in chronologischer Reihenfolge gehört, in denen die oben genannten Begriffe ganz natürlich von den Protagonist:innen genutzt und/oder erklärt werden. Nach dem erstmaligen Hören stellt die Lehrkraft im Plenum sicher, dass die Beitragssequenzen verstanden wurden, lässt die Lernenden Inhalte wiedergeben und Fragen klären. Anhand dieser Ausschnitte erarbeiten die Lernenden dann vertiefend in Partnerarbeit ein Wortspeicher-Plakat, das sie bei den folgenden Aufgaben unterstützen soll. Anschließend erproben die Lernenden weitere Glücksspiele an Stationen und untersuchen sie auf Fairness und Gewinnchancen – angestoßen durch den Vorschlag des Protagonisten Laurenz, der ein weiteres, faireres Glücksspiel vorschlägt. Auf jeder Station finden die Lernenden eine Stationskarte mit den Regeln des Spiels, ihren Aufgaben sowie einer Hilfestellung als Unterstützung bzw. Differenzierungsmöglichkeit. Die Gruppen sollen jeweils begründen, warum die Spiele unfair sind, sowie argumentieren, was man tun muss, um sie fair zu gestalten. Hierbei können sie durch ein vorstrukturiertes Arbeitsblatt sowie durch den Wortspeicher unterstützt werden. In einer Abschlusspräsentation stellt jede Gruppe ein Spiel als Experte vor und präsentiert ihre Untersuchungsergebnisse bzgl. der Fairness und der Gewinnchancen dieses Spiels. Die Ergebnisse werden im Plenum gemeinsam diskutiert.

Der Aufbau dieser Unterrichtseinheit lehnt sich an die Auffassung von statistischen Untersuchungen als kreisförmigen Prozess an, der aus fünf Phasen besteht, die zyklisch durchlaufen werden (Sill und Kurtzmann, 2019, S. 93-97; nach Wild und Pfannkuch, 1999 sowie Sachs, 2006):

1. Bestimmen eines Problems und einer sich daraus ergebenden Fragestellung, die durch eine statistische Untersuchung bearbeitet werden kann
2. Planung der Untersuchung
3. Erfassen der Daten (plus z.B. gemeinsames Zusammentragen ebendieser)
4. Aufbereitung und Auswertung der Daten (z.B. in Tabellen und Diagrammen)
5. Schlussfolgerungen aus den Daten, weiterführende neue Fragen, Anregungen zu weiteren statistischen Untersuchungen

Phase 1 wird in der ersten Sequenz der Unterrichtseinheit durch die Problematik der Radiosendung aufgeworfen. Phase 2 bis 4 finden sich in der zweiten Sequenz in der Arbeit an und mit den Daten wieder. Die Planung der Untersuchung wird durch den Radiobeitrag vor- und in der Lerngruppe nachgestellt. In Strichlisten und Tabellen werden die Daten festgehalten und ausgewertet. Phase 5 wird in der letzten Sequenz erreicht durch die Anregung des kindlichen Protagonisten Laurenz zu weiteren statistischen Untersuchungen an einem alternativen Glücksspiel. Auf diese Weise können Transferleistungen angestoßen werden sowie Vergleiche und Schlussfolgerungen entstehen.

5.2. Haus der Vierecke

Die Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* wurde erstmals 2015 und ein weiteres Mal im zweiten Sendedurchgang 2019 über das hr2-Kinderfunkkolleg gesendet und steht auf der Internetseite des in Kapitel 1.3 beschriebenen Kinderfunkkollegs Mathematik als Podcast zum Anhören und Downloaden zur freien Verfügung.[18] Bevor der Beitrag sprachlich sowie medien- und fachdidaktisch analysiert werden kann, soll nachfolgend in aller Kürze eine inhaltliche und thematische Beschreibung des Radiobeitrags erfolgen.

5.2.1 Inhaltliche Beschreibung

Der Radiobeitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* thematisiert geometrische Körper und ebene Figuren sowie insbesondere die Eigenschaften der verschiedenen Vierecke und wie sie zueinander in Beziehungen stehen. Im Einstieg werden sowohl geometrische Körper als auch

[18] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wer-wohnt-im-haus-der-vierecke

ebene Figuren angesprochen, woraufhin erst eine Reduktion auf die ebenen Figuren, dann auf die Vierecke und zuletzt auf die konvexen Vierecke vollzogen wird, die im 'Haus der Vierecke' repräsentiert sind.

Zu Beginn nennen verschiedene Kinder anschauliche Beispiele für Körper und ebene Figuren. Am Beispiel der Kugel erklären die Sprecherin und ein Kind, was einen geometrischen Körper ausmacht, dass man ihn anfassen kann, er dreidimensional ist und dass der Schatten eines Körpers eine Fläche und nicht dreidimensional, sondern „platt" (MV, Z. 26)[19] ist. Anschließend erklärt Prof. Dr. Schreiber von der Justus-Liebig-Universität Gießen, dass im Prinzip sogar ein Blatt Papier keine ebene Figur, sondern ein Körper ist, und zeigt am Beispiel einer Tischplatte, dass die Begrenzungsflächen der Körper ebene Figuren sind. Auf diese Weise werden die Begriffe *geometrische Körper* und *Flächen* voneinander abgegrenzt.

Die Sprecherin leitet zu den ebenen Figuren über und zählt die bekanntesten von ihnen auf. Um die Bedeutung dieser ebenen Figuren zu betonen, gibt einer der beiden Experten des Beitrages, Prof. Beutelsbacher, Direktor des Mathematikums in Gießen, einen kurzen geschichtlichen Exkurs übr das alte Ägypten. Er beschreibt, wie dort aus den jährlichen Überschwemmungen durch den Nil die Notwendigkeit der Landvermessung zur gerechten Verteilung von Landstücken wuchs und erklärt den ursprünglichen praktischen Zweck der Geometrie. Prof. Dr. Schreiber ergänzt, dass geometrische Figuren – insbesondere Vierecke und Dreiecke – für das Auslegen oder Vermessen von Flächen gut geeignet seien, klärt in diesem Zusammenhang die Etymologie des Wortes *Geometrie* (altgriechisch für Erdmessung, Landvermessung; MV, Z. 49f.) und thematisiert kurz das Parkettieren.

Nach diesem Exkurs leitet die Sprecherin zu den verschiedenen Vierecken über und erörtert den Unterschied zwischen konvexen und konkaven Vierecken. Wieder nennen Kinder besondere Merkmale und lebensweltliche Beispiele für diese beiden Arten von Vierecken. Prof. Dr. Schreiber erklärt nun, dass und wie Mathematiker die konvexen Vierecke im ‚Haus der Vierecke' darstellen, um ihre Eigenschaften und ihre Beziehungen zueinander deutlich aufzeigen zu können. Dabei verortet er das Quadrat, die „Königin der Vierecke" (MV, Z. 115), als wichtigstes Viereck ganz oben, da es die Merkmale aller anderen konvexen Vierecke in sich vereint (gleichlange und parallele Seiten, vier rechte Winkel, vier Symmetrieachsen). Es ist also das gleichmäßigste und symmetrischste Viereck. Kinderstimmen betonen noch die Drehsymmetrie und nennen einige Beispiele für Quadrate. Darunter verortet der Experte das Rechteck und die Raute als die „engsten Verwandten des Quadrates" (MV, Z. 146) und nennt

[19] MV bezieht sich auf das Manuskipt (M) zur Sendung über die Vierecke (V) und lässt sich im Anhang (A8) dieser Arbeit finden.

Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten zum Quadrat. Anschließend wird geklärt, warum das Quadrat auch eine besondere Raute und ein besonderes Rechteck ist und wie man das ‚Haus der Vierecke' nutzen kann, um die Verwandtschaften der Vierecke zu erkennen und zu erklären. Analog dazu, jedoch mit weniger Erläuterungen, werden die Vierecke im untersten Stockwerk besprochen: das Parallelogramm, das Trapez und der Drache. Sie sind eng mit dem Rechteck und der Raute verwandt und „stecken gleichzeitig auch im Quadrat drin" (MV, Z. 192), haben aber weniger Merkmale. Abschließend beschreiben die Kinder noch, warum es im Alltag hilfreich ist, die verschiedenen Eigenschaften und Namen der einzelnen Vierecke zu kennen und geben Beispiele aus ihrer Lebenswelt.

Da die Begriffe Drachen, Trapez und Parallelogramm in der Sendung nicht in der gleichen Ausführlichkeit behandelt werden wie das Quadrat, das Rechteck und die Raute, werden die dazu passenden O-Töne aus der Rubrik ‚Hörenswertes'[20] ergänzend hinzugenommen. In diesen O-Tönen werden die betreffenden ebenen Figuren, ihre Eigenschaften sowie ihre Position und ihre Verwandtschaften im 'Haus der Vierecke' erklärt und mit Alltagsgegenständen in Verbindung gebracht.

5.2.2 Mediendidaktische Analyse

Wie in Kapitel 3.4.1 beschrieben, sind die Beiträge des Kinderfunkkollegs als ‚Feature' (Gutenberg, 2000) geplant und ausgestaltet, was bedeutet, dass (vorgelesene) Manuskriptteile und O-Töne im Wechsel montiert werden. Anders als im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* sind die O-Töne im Beitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* authentische Spontanaufnahmen von Kindern und zwei Experten und wurden nicht vorher geskripted. Im Nachhinein wurde dann von der Autorin der Text der Sprecherin bzw. der ganze Beitrag um diese O-Töne herum geplant und produziert. Zusätzlich zu den O-Tönen wird die Sendung durch Soundeffekte ausgestaltet – ein weiteres Kriterium schülergerechter Beiträge (Böhme et al., 2010). Im Gegensatz zur Sendung *Wann ist ein Spiel fair?,* die durch authentische Würfel- und Schulhof-Geräusche ausgeschmückt und somit realistischer gestaltet werden konnte, kommen in der Sendung zum 'Haus der Vierecke' nur musikalische Elemente zur Strukturierung des Beitrages vor. Diese können die Aufmerksamkeit (neu) aktivieren, Pausen zum Mitdenken während der schnellen Vermittlung von Wissen darstellen und auf diese Weise die Informationsaufnahme und -verarbeitung erleichtern. Um die Aufmerksamkeit der Rezipient:innen auf wichtige Inhalte zu lenken, werden außerdem auch in diesem Beitrag Klangeffekte eingesetzt. Beispielsweise werden neu eingeführte Begriffe wie *Körper* und *Flächen* bei ihrer erstmaligen

[20] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wer-wohnt-im-haus-der-vierecke/o-tone-anhoren

Nennung durch einen bestimmten Soundeffekt angekündigt (MV, Z. 31f.). Dies kommt wieder einer Hervorhebung von Schlüsselinformationen im Text gleich (Leisen, 2013) und erleichtert somit das Hörverstehen. Außerdem dienen diese akkustischen Veränderungen (Hagen, 2006) der kognitiven Aktivierung, da die Aufmerksamkeit der Lernenden angeregt und didaktisch sinnvoll gelenkt wird (Hinkelbein & Hoops, 1998). Als O-Töne wurden Kinderäußerungen und Erklärungen der beiden Experten genutzt. Die Sprecherwechsel stellen eine weitere Art der Gliederung des Hörtextes dar, machen die Hörerfahrung abwechslungsreicher und erleichtern konzentriertes Zuhören. Anders als im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* sind die mathematischen Inhalte hier nicht in eine Rahmengeschichte eingebettet. Es gibt keine interagierenden Protagonist:innen und als Experten wurden keine Personen aus der Lebenswelt der Rezipient:innen einbezogen. Basierend auf den Gestaltungmerkmalen handelt es sich bei diesem Beitrag also um ein klassisches Feature ohne die Hörspiel-Elemente, die im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* zu finden sind.

5.2.3 Sprachliche Bedarfsanalyse

Wie in Kap. 3.4 beschrieben, müssen auditive Medien inhaltlich wie sprachlich verständlich sein sowie zum sprachlichen Niveau der Zielgruppe passend produziert oder ausgewählt werden. Um die Hörverständlichkeit und die Eignung des Beitrages für den Mathematikunterricht der Grundschule zu bewerten, wird im Folgenden das Manuskript der Sendung (Anhang A8) analog der Untersuchungsschritte in Kapitel 5.1.3 auf Text-, Satz- und Wortebene analysiert.

Textebene

Auf der Textebene wird das Thema durch verschiedene Sequenzen gegliedert dargeboten. Diese werden von unterschiedlichen Stimmen gesprochen, die unterschiedliche Rollen erfüllen. Eine Sprecherin leitet moderierend durch das Thema und lässt die Expertenstimmen zu Wort kommen, druch die Erläuterungen zur Etymologie und Bedeutung des Begriffs ‚Geometrie' gegeben (MV, Z. 56-67) sowie der fachwissenschaftlichen Inhalt des Beitrages geliefert werden (z.B. MV, Z. 71-80). Weiterhin wird der Beitrag mit Erklärungen und Alltagsbeispielen durch mehrere Kinderstimmen ergänzt (z.B. MV, Z. 2-12). Der regelmäßige Sprecherwechsel erzeugt eine abwechslungsreiche Darstellung und Spannung, die das Zuhören anregen kann. Vor allem der Wechsel zwischen fachlichen Erklärungen und den von Kindern gesprochenen alltagsnahen Erklärungen erleichtert und entspannt die herausfordernde auditive Informationsverarbeitung (Lampert & Wespe, 2012). Außerdem wird den Rezipient:innen durch das Anknüpfen an ihre

Umgebung (z.B. Vergleich von Körpern und Flächen mit Gegenständen aus dem Klassenraum, MV, Z. 10) ein bekannter Kontext gegeben. Weiterhin werden die einzelnen Sequenzen durch kurze musikalische Überleitungen verbunden. Vor wichtigen fachlichen Erklärungen oder Begriffen erklingen Soundeffekte, die das selektive Zuhören initiieren und unterstützen sowie zur Struktur der mathematischen Inhalte beitragen sollen (z.B. in MV, Z. 31f. vor den Begriffen „Körper" und „Flächen" oder in MV, Z. 147f. vor den Begriffen „Rechteck" und „Raute"). Schwierige oder neue Fachbegriffe werden zudem oft wiederholt (Wachtel, 2013), um das Einprägen dieser zu ermöglichen: „Es gibt dann auch noch die konkaven Vierecke, die sehen wir viel, viel seltener. Ein konkaves Viereck… " (MV, Z. 93f.). Wiederholungen werden außerdem verwendet, um Wichtiges zu betonen: „Das Wichtige an der Raute ist: Alle vier Seiten sind gleich lang. Das ist genauso wie beim Quadrat, alle vier Seiten sind gleich lang…" (MV, Z. 150ff.) oder „Das Quadrat ist auch ein Rechteck, aber ein besonderes… Das Quadrat ist übrigens auch `ne Raute, aber `ne besondere…" (MV, Z. 179ff.).

Eine weitere Besonderheit auf Textebene sind die Anregungen zur Konstruktion eigener Vorstellungsbilder wie bspw. durch die Faltanleitung zur Überprüfung der Symmetrie (MV, Z. 119-130). Diese Beschreibungen regen dazu an, sich die Vorgänge des Faltens und des Zeichnens visuell vorzustellen. Auch die Beschreibung vom ‚Haus der Vierecke' (z.B. „Das Quadrat wohnt ja ganz oben und das Rechteck darunter…" (MV, Z. 178f.)) und dem Gedankenspiel des Experten, man könne im Haus „von unten nach oben laufen" (MV, Z. 185) regen eine visuelle Vorstellung der Anordnung der Vierecke sowie deren Verwandtschaft an und ermöglichen somit ein besseres Verständnis dieses Modells.

Mit Blick auf die Sprachregister (Feilke, 2013; Meyer & Tiedemann, 2017; siehe auch Kap. 4.3) lässt sich feststellen, dass der Beitrag vor allem von Bildungs- und Alltagssprache geprägt ist. Die O-Töne der Kinderstimmen sind vor allem alltagssprachlich geprägt, es kommen jedoch auch einige relevante Fachbegriffe vor – wie z.B. die Namen der geometrischen Körper und ebenen Figuren (MV, Z. 2–29), die Begriffe „dreidimensional" (MV, Z. 28), „Fläche" (MV, Z. 29), „Symmetrie- und Spiegelachse" (MV, Z. 121f.) uvm. Diese werden meist von den Kinderstimmen selbst kindgerecht und somit authentisch erläutert. Da diese Sendung keinen Handlungsstrang mit Protagonist:innen beinhaltet, sondern die Kinderstimmen nur als Einschübe genutzt werden, ist allerdings (anders als im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?*) keine Entwicklung im Sprachgebrauch der Kinderstimmen erkennbar. Die Sprache der Sprecherin und der beiden Experten ist überwiegend von schriftsprachlichen Elementen geprägt (Bastians, 2018), wird jedoch an manchen Stellen durch kurze alltagssprachliche Erklärungen oder die eingeschobenen ‚einfachen', alltagssprachlichen O-

Töne der Kinder unterbrochen, um komplexe Sachverhalte verständlicher zu machen. Beispielsweise beschreibt der Experte Prof. Dr. Schreiber in seiner ersten Sprechsequenz: „Die ebenen Figuren, das ist das, was ich auf Papier zeichne, dann spreche ich von einer ebenen Figur. Alles, was ich in die Hand nehmen kann, das ist ein Körper …“ (MV, Z. 34f.). Auf diese Weise werden Erklärungen vertieft und eine Unterstützung der Informationsverarbeitung und damit des Verständnisses angeboten.

Satzebene

Wie in dem letzten angeführten Beispiel sichtbar wird, werden also auch unvollständige Sätze verwendet, die durch die Verwendung des Pronomens „ich“ (MV, Z. 34f.) persönlich klingen und von den Rezipient:innen leichter nachvollzogen werden können. Trotzdem treten im Beitrag auch linguistische Hürden in Form von langen und komplexeren Satzstrukturen bei Sprecherin und Experten auf (z.B. MV, Z. 105-109). Sätze wie „Und zwar deswegen, weil man sich in gewisser Weise gegen Willkür oder unvorhersehbare Situationen schützen wollte“ (MV, Z. 56f.) hätten verständlicher gestaltet werden können durch einfachere Sätze und/oder das Weglassen von schwierigen Begriffen wie z.B. ‚Willkür‘ oder ‚unvorhersehbare Situationen‘, die den kindlichen Rezipient:innen ggf. sogar unbekannt sind. Nebensatzkonstruktionen wie „…auch der Planet, auf dem wir leben“ (MV, Z. 16f.) hätte zu „unser Planet“ oder „die Erde“ verkürzt werden können. Außerdem lassen sich einige alltägliche Redensarten finden („wirft die Kugel einen Schatten“ (MV, Z. 23) oder „vor Augen halten“ (MV, Z. 105f.)), von deren Verständnis nicht selbstverständlich ausgegangen werden kann. Auch die fachmathematischen Erklärungen der Vereinigung von Eigenschaften („das die Merkmale aller anderen konvexen Vierecke in sich vereint“ (MV, Z. 144f.) oder „die anderen bekannten Vierecke… stecken gleichzeitig auch im Quadrat drin“ (MV, Z. 190ff.)) sind sprachlich schwierig, ggf. zu abstrakt und bedürfen deshalb einer Klärung und Vertiefung.

Die Äußerungen der Kinder sind wie schon erwähnt hauptsächlich alltagssprachlich geprägt und deshalb häufig sehr kurz. Auch enthalten sie sich wiederholende Elemente („Eine Pusteblume ist rund wie `ne Kugel… Ein Fußball ist rund wie eine Kugel.“ (MV, Z. 2ff.)), so dass durch diese Inputmaximierung Wortspeicherarbeit erfolgen kann (Kap. 4.4.4). Verben werden meist im Aktiv verwendet und komplexe Satzkonstruktionen kommen nur sehr selten vor. Es lassen sich aber auch schriftsprachliche Elemente finden wie bspw. der Gerbrauch von Konditionalsätzen sowie der unpersönlichen Form „man“ (MV, Z. 211ff. und 220ff.). Hier geben die kindlichen O-Töne also ein authentisches bildungssprachliches Vorbild.

Wortebene

Auf der Wortebene lassen sich neben den alltäglichen Begriffen aus der Lebensumwelt der Kinder (Pusteblume, Fußball, Partyhütchen etc. (MV, Z. 2–29)) auch viele bildungssprachliche Begriffe und Fachtermini finden, die aber zumeist kindgerecht und alltagssprachlich erklärt werden. Bei der Nennung des – für die Rezipient:innen vermutlich unbekannten – Begriffs Parkettieren schiebt der Experte Prof. Dr. Schreiber eine vereinfachte Erklärung nach: „Also man spricht vom Parkettieren, man kann sozusagen so 'ne Art Parkett machen mit Vierecken" (MV, Z. 72f.), wobei selbst das ‚Parkett' für viele Kinder kein Alltagsbegriff ist und ggf. geklärt werden muss. Auch gibt es linguistisch komplexe Elemente auf der Wortebene, die nicht geklärt werden und je nach sprachlichem Stand der Rezipient:innen ggf. vertieft werden müssten – wie z.B. „jährlich" (MV, Z. 59), „sämtlich" (MV, Z. 6 2), „übervorteilt" (MV, Z. 66), „beliebig" (MV, Z. 75), „das symmetrischste Vierecke" (MV, Z. 138) etc. Komposita lassen sich vor allem in den schon genannten Begriffen aus der Lebensumwelt finden (z.B. „Erdkugel" und „Weltkugel" (MV, Z. 21)), aber auch unter den mathematischen Fachbegriffen (z.B. „Begrenzungsflächen" (MV, Z. 43)). Die neuen bzw. für die geplante Lernumgebung relevanten Fachbegriffe und Phrasen lassen sich in Höraufträgen und der gemeinsamen Erarbeitung eines Wortspeichers vertiefen. Folgende Begriffe oder Phrasen können aus dem Beitrag für die Wortspeicherarbeit herausgefiltert werden:

- Körper (MV, Z. 31)
- Ebene Figuren (MV, Z. 32)
- Konvexe Vierecke (MV, Z. 88)
- Konkave Vierecke (MV, Z. 93)
- alle Vierecke
- alle Eigenschaftsbegriffe
    - gleichlange Seiten (MV, Z. 117)
    - gegenüberliegende Seiten (MV, Z. 170)
    - parallel (MV, Z. 197)
    - Rechter Winkel (MV, Z. 117)
    - Symmetrieachse bzw. Spiegelachse (MV, Z. 121f.)
    - waagerecht und senkrecht (MV, Z. 176)

Die für den Wortspeicher genutzten Begrifflichkeiten müssen selbstverständlich von der Lehrkraft an den Lernstand und das Vorwissen der Lerngruppe angepasst und strukturiert werden (Kap. 4.4.4).

Ergebnisse der sprachlichen Analyse

Nach der detaillierten Analyse auf allen drei Ebenen lässt sich festhalten, dass der Beitrag ein bildungssprachliches Vorbild für den Einsatz im Mathematikunterricht der Grundschule darstellen kann. Er enthält einige (je nach Zielgruppe möglicherweise neue) Fachbegriffe, hebt sie aber wie schon erwähnt stets durch bestimmte Töne und Klangeffekte hervor (Böhme et al., 2010; Hagen, 2006). Auf diese Weise werden wichtige Passagen gekennzeichnet, die für die Initiierung von Begriffsbildungsprozessen nötig sind. Anders als im Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* überwiegen die schriftsprachlichen Elemente und werden außerdem nicht durch Protagonist:innen in eine Geschichte und damit in einen spielerischen Kontext eingebettet (Reich et al., 2005). Zwar gibt es Äußerungen von Kinderstimmen, jedoch werden neue Fachbegriffe nicht in einem alltagsnahen Kontext mit alltagsnaher Sprache eingeführt. Dadurch, dass die kindlichen Sprecher:innen einige Gegenstände aus ihrer Lebensumwelt als Repräsentanten für die geometrischen Körpern nennen und die komplexeren Inhalte vereinfacht erklären, können die Rezipient:innen trotzdem zum Mitdenken und Nachvollziehen angeregt werden. Allerdings kann die Vielzahl an (je nach Klassenstufe) neuen Begriffen zu einem kognitiven Overload führen und muss deshalb gut aufbereitet werden. Auch der synonyme Gebrauch der Begriffe „Flächen oder ebene Figuren“ (MV, Z. 32), „geometrische Flächen“ (MV, Z. 48) sowie „Formen und Figuren“ (MV, Z. 16) muss bedacht und ggf. thematisiert werden. Die Lehrkraft muss dies im Unterricht klären. Gleiches gilt für den synonymen Gebrauch der Begriffe „geometrische Körper“ (MV, Z. 23) und „dreidimensionale oder räumliche Figuren“ (MV, Z. 30). Des Weiteren sind einige Begriffe laut Lehrplan noch nicht für die vom Hessischen Rundfunk vorgeschlagene Zielgruppe vorgesehen (z.B. konvex und konkav, rechter Winkel etc.) und müssen bei der didaktischen Reduktion bedacht werden (ausführlich in Kap. 5.2.5). Längere beschreibende Passagen, welche die mentale Vorstellung anregen wie die Faltanweisung (MV, Z. 119-130) oder der Aufbau vom ‘Haus der Vierecke’ (MV, Z. 177-188) müssen sequenziert sowie Stück für Stück nachempfunden und entweder als kopfgeometrische Aufgabe (Weber, 2007) oder tatsächliche Handlung rekonstruiert werden können, um das Verständnis zu sichern (Kap. 3.5).

Im Sinne der in Tab. 2 (Kap. 3.4.1) dargestellten Merkmale zur Hörverständlichkeitsanalyse lässt sich festhalten, dass der Beitrag sowohl Merkmale enthält, die das Textverstehen bzw. die auditive Informationsverarbeitung erleichtern, als auch solche, die es erschweren. Übersichtlich und damit erleichternd wirken die Gliederung des Textes durch Musik (Ordolff & Wachtel, 2014) und Sprecherwechsel (Wachtel, 2013) sowie das Hervorheben von Schlüsselinformationen (Hagen, 2006). Anschaulich wirken die Beispiele aus

dem Erfahrungsbereich der Lernenden sowie die Veranschaulichung von Inhalten, welche die Konstruktion von mentalen Vorstellungsbildern ermöglicht. Nicht anschaulich und damit erschwerend wirkt die Tatsache, dass die Rezipient:innen nicht unmittelbar angesprochen oder durch Fragen bzw. eine aufgeworfene Problematik zum Mitdenken oder zur Interaktion aufgefordert werden (Reich et al., 2005). Der Beitrag stellt eher ein Referieren vieler Einzelinformationen dar, von denen der Zusammenhang unklar bleiben könnte – trotz der Veranschaulichung im 'Haus der Vierecke'. Außerdem können die gehäuft auftretenden Sätze mit hoher Informationsdichte und vielen Fachtermini sowie komplexen syntaktischen Strukturen ein Lernhindernis darstellen (Bastians, 2018; Abshagen, 1015), welches durch sprachsensible Methoden aufgefangen werden muss.

5.2.4 Fachwissenschaftliche Analyse

Der Beitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* bewegt sich inhaltlich in der Geometrie, einem Teilbereich der Mathematik, dessen historischer Ursprung in der Landvermessung liegt und der sich mit ‚Erdmessung' übersetzen lässt. In ihren Anfängen lag der besondere praktische Nutzen der Geometrie in der Erkenntnis, dass sich kongruente Ausgangsfiguren nutzen lassen, um eine Ebene lückenlos und überlappungsfrei abzudecken bzw. zu parkettieren.

> Einfache Parkette lassen sich herstellen aus kongruenten Dreiecken, beliebigen kongruenten Vierecken oder regelmäßigen Sechsecken. Alle anderen einfachen Parkettierungen mit einer n-eckigen Figur (Polygon) beruhen auf Zusammensetzung oder Zerlegungen aus diesen geometrischen Figuren. (Franke, 2007, S. 254)

Im Grundschulunterricht umfasst die Geometrie ab Jahrgangsstufe 1 neben Kenntnissen über die im Zitat genannten und andere geometrische bzw. ebene Figuren auch das Wissen über räumliche Figuren bzw. geometrische Körper, die Beziehungen zwischen ihnen sowie die Anwendung der Geometrie bzw. geometrischer Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Problemlösen. Zum Problemlösen dienen z.B. das Operieren mit Formen, räumliches Vorstellungsvermögen, Messfertigkeiten und das Lösen von Aufgaben mit geometrischen Mitteln (Franke, 2007, S. 15ff.).

Sowohl die dreidimensionalen geometrischen Körper als auch die zweidimensionalen ebenen Figuren werden im Beitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* thematisiert. Im Fokus stehen jedoch vor allem die verschiedenen Vierecke mit ihren Eigenschaften sowie das ‚Haus der Vierecke' als eine Möglichkeit ihrer Klassifikation. Diese Inhalte sollen durch den Einsatz des Beitrages im Unterricht vermittelt und durch methodische Konzepte wie Wortspeicherarbeit und Höraufträge vertieft und gefestigt werden. Der Beitrag beschränkt sich

nach einer kurzen Abgrenzung der Begriffe *konvex* und *konkav* auf die Einordnung konvexer Vierecke in eine Begriffshierarchie. Aus diesem Grund sollen im Folgenden fokussierend die Klasse der konvexen Vierecke und ihre Begriffshierarchie in ihren fachwissenschaftlichen Grundlagen dargestellt werden, um darauf aufbauend weitere fachwissenschaftlich fundierte Analysen zu ermöglichen.

Konvexe Vierecke

Als eine erste und simple Definition für Vierecke kann das Offensichtliche festgehalten werden: „Eine ebene Figur mit vier Ecken und vier Seiten nennt man Viereck“ (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 39). Es gibt konkave, überschlagene und konvexe Vierecke, die sich aufgrund der Lage ihrer Diagonalen voneinander unterscheiden:

> Bei den konvexen Vierecken liegen beide Diagonalen im Innern des Vierecks, bei den konkaven liegt eine Diagonale im Innern und eine außerhalb des Vierecks und bei den überschlagenen Vierecken liegen sogar beide Diagonalen außerhalb. (Zeuge, 2021, S. 115)

Ein allgemeines konvexes Viereck beschreibt also eine Punktmenge, die von einem geschlossenen Streckenzug aus vier Strecken begrenzt wird (Helmerich & Lengnink, 2016), und bei der beide Diagonalen im Inneren des Vierecks liegen. Die vier Strecken dürfen sich weder überschneiden noch auf derselben Gerade liegen. Außerdem kann es durch eine Diagonale in zwei Dreiecke zerlegt werden, weshalb die Winkelsumme $2 \cdot 180° = 360°$ beträgt (Zeuge, 2021, S. 11). Somit kann das allgemeine konvexe Viereck als Polygon – d.h. Vieleck oder n-Eck (Holland, 2007) – mit vier Ecken, vier Seiten, vier Winkeln und einer Innenwinkelsumme von 360° definiert werden.

In der Klasse der konvexen Vierecke lassen sich neben dem allgemeinen konvexen Viereck weitere Viereckarten anhand ihrer spezifischen Eigenschaften identifizieren und unterscheiden. Wie Zeuge (2021, S. 115f.) anschaulich darstellt, ist dabei die Untersuchung von verschiedenen Eigenschaften relevant: die Längen der Seiten, die Parallelität der Seiten zueinander, die Eigenschaften der Innenwinkel (vor allem die Rechtwinkligkeit), die Eigenschaften der Diagonalen sowie die Symmetrieeigenschaften.

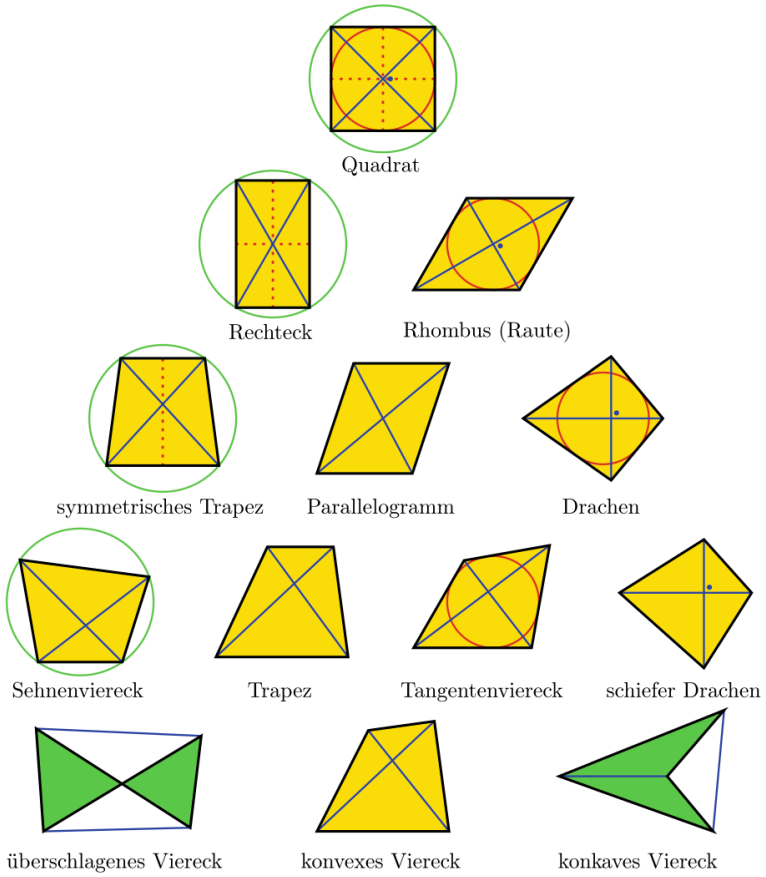


Abbildung 19: Die wichtigsten Typen von Vierecken (entnommen aus Zeuge, 2021, S. 116)

Der Radiobeitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* thematisiert die folgenden konvexen Vierecke: das Quadrat, das Rechteck, die Raute, das Trapez, den symmetrischen Drachen und das Parallelogramm (für Definitionen und detaillierte Darstellungen vgl. z.B. Zeuge, 2021; Helmerich & Lengnink, 2016). Von großer Bedeutung ist, dass die Merkmale eines speziellen Vierecks nicht nur in einem bestimmten Prototyp dieses Vierecks gegeben sind, sondern auch für größere, kleinere oder gedrehte Repräsentanten dieser Viereckskart gelten. Ein langgezogenes oder auf der kurzen Seite stehendes Rechteck beispielsweise (wie in Abb. 19 dargestellt) soll immer noch als Rechteck identifiziert werden können. Dafür ist eine gute Kenntnis der definierenden Merkmale im Sinne des Begriffsumfangs notwendig, der in Kapitel 5.2.5 noch beschrieben werden soll.

Um im Folgenden die Beziehungen der Vierecke untereinander im Hinblick auf ihre Eigenschaften vertiefen zu können, soll an dieser Stelle ausgehend vom Quadrat aufgezeigt werden, wie verschiedene Eigenschaften für die eindeutige Definition eines Begriffes eingefordert werden.

> Das Quadrat … hat im Vergleich zum allgemeinen Viereck neben 4 Ecken und 4 Seiten noch die Merkmale 4 rechte Winkel, 4 gleich lange Seiten, 2 Diagonalen[21], 4 Symmetrieachsen, und die Parallelität gegenüberliegender Seiten. (Schipper, 2017, S. 132)

Für die Definition eines Quadrates ist jedoch nicht zwingendermaßen die Nennung aller dieser Eigenschaften notwendig, da sich einige Eigenschaften gegenseitig bedingen. Für eine eindeutige Definition müssen mindestens so viele Eigenschaften in der Definition gefordert werden, dass die anderen Eigenschaften daraus folgen:

> So ist zum Beispiel ein Viereck mit gleich langen Seiten noch nicht notwendigerweise ein Quadrat. Es könnte auch noch eine Raute sein. … Auch ist ein Viereck mit gleich langen Seiten und zueinander parallelen gegenüberliegenden Seiten kein Quadrat (auch das gilt für jede Raute). … Definiert man den Begriff der Raute als ein Viereck mit vier gleich langen Seiten, so folgt aus der obigen Definition eines Quadrates sofort, dass jedes Quadrat eine Raute ist. (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 43)

Auf diese Weise lassen sich Beschreibungen der Beziehungen von Vierecken in Sätzen festhalten – im Zusammenhang der Vierecke bleibend z.B. im folgenden Satz: Jedes Quadrat ist eine Raute (Helmerich & Lengnink, 2016). Solche Beziehungen können mithilfe anschaulicher Darstellungen detailliert beschrieben und untersucht werden.

Das Haus der (konvexen) Vierecke

In der fachdidaktischen Literatur werden verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen, die Beziehungen und Eigenschaften der unterschiedlichen Vierecke differenziert darzustellen und zu beschreiben wie Grafiken, Tabellen und Diagramme (Schipper, 2017, S. 132). Allen gemeinsam ist die Tatsache, dass die verschiedenen konvexen Vierecke hinsichtlich ihrer Eigenschaften klassifiziert und geordnet werden. Anhand der daraus gewonnenen strukturierten Darstellung können dann die Beziehungen zwischen den Vierecken, ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede, herausgestellt und kommuniziert werden. Eine gute Klassifikationsmöglichkeit und Sprache bzw. Beschreibungshilfe bietet das ‘Haus der Vierecke’ (z.B. Helmerich & Lengnink, 2016, S. 42), ein Diagramm, in welchem die Vierecke nach unterschiedlichen Kriterien, wie beispielsweise den Symmetrieeigenschaften oder den Eigenschaften der Innenwinkel, hierarchisch geordnet und klassifiziert werden. Hierdurch ergeben sich

[21] Schipper (2017) führt die Diagonalen hier auf, da mit einem allgemeinen Viereck auch ein überschlagenes oder konkaves Viereck ohne Diagonalen gemeint sein kann (siehe Abb. 19). Selbstverständlich haben alle konvexen Vierecke zwei Diagonalen.

verschiedene Anordnungsmöglichkeiten und Herangehensweisen. In Abbildung 20 sind die konvexen Vierecke unter folgendem Gesichtspunkt geordnet:

> Je mehr Merkmale ein Viereck besitzt, desto niedriger ist es im Diagramm angeordnet, je weniger Merkmale es besitzt, desto höher liegt es im Diagramm. … Ganz unten findet sich ein Quadrat, ganz oben ein allgemeines Viereck. (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 42)

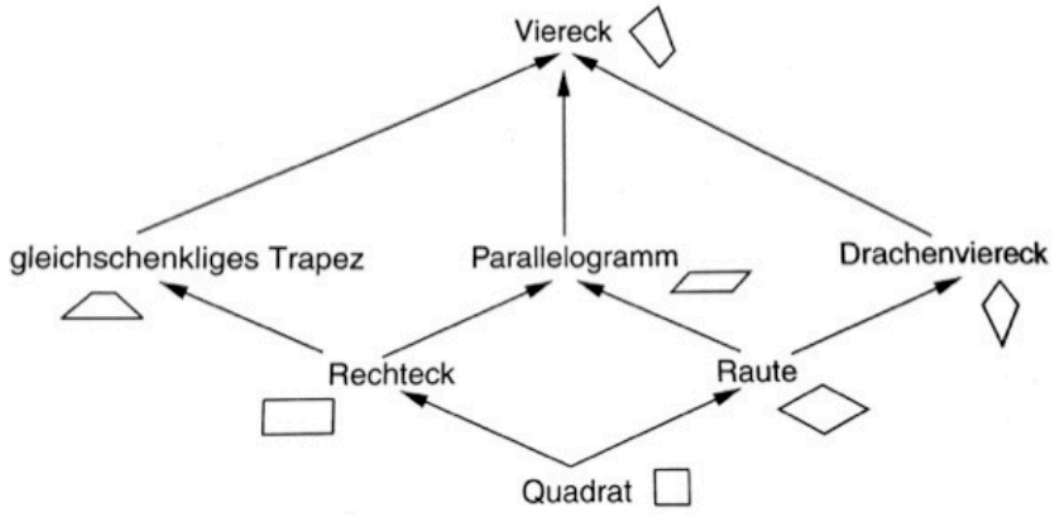


Abbildung 20: Begriffshierarchie im ‘Haus der Vierecke’ (entnommen aus Franke, 2007, S. 103)

In dieser Art der Darstellung wird außerdem deutlich, dass durch die Klassifikation der Vierecke eine Begriffshierarchie entsteht, in der Ober- und Unterbegriffe sowie nebengeordnete Begriffe gebildet werden können (Helmerich & Lengnink, 2016). Ganz oben in diesem Diagramm steht mit dem allgemeinen Viereck der Begriff ‚Viereck‘. Nach unten hin werden die Vierecke immer spezifischer, gehören aber immer noch der Klasse Vierecke an. Jedes spezifische Viereck bildet damit einen Unterbegriff zum Oberbegriff ‚Viereck‘ – und auch zur jeweils höheren Ebene. So ist das Quadrat – das merkmalsreichste und speziellste aller Vierecke ganz unten in der Begriffshierarchie – sowohl ein Unterbegriff zum ‚Viereck‘, als auch ein Unterbegriff der Begriffe ‚Rechteck‘ und ‚Raute‘ sowie aller anderen hier beschriebenen spezifischen Vierecke. Ein Quadrat ist immer ein Viereck und immer auch ein Rechteck, eine Raute, ein Parallelogramm etc. Durch die Pfeile wird die Unterbegriff-Oberbegriff-Beziehung der Begriffe visualisiert, wobei die Pfeilrichtung angibt, zu welchem Oberbegriff ein Unterbegriff zugeordnet werden kann (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 44). Nebengeordnete Begriffe haben keine Unterbegriff-Oberbegriff-Beziehung und sind deshalb nicht durch Pfeile verbunden. Die Raute beispielsweise kann zu den Oberbegriffen Parallelogramm und

Drachenviereck zugeordnet werden – und über diese auch zum allgemeinen Viereck. Außerdem stellt die Raute wiederum einen Oberbegriff für das Quadrat dar.

Da das Quadrat das merkmalsreichste unter den Vierecken ist, wird es als ganz besonders angesehen. Dies spiegelt sich in einer anderen möglichen Darstellungsweise der Klassifikation wider, die in fachdidaktischer Literatur zu finden ist (z.B. Roth & Wittmann, 2014, S. 137): die genau umgekehrte Anordnung des oben vorgestellten Hauses (Abb. 21). Die Anordnung der Vierecke erfolgt zwar wieder durch die quantitative Erfassung aller Eigenschaften, jedoch gilt hier die Prämisse: Je mehr Merkmale ein Viereck aufweist, desto höher ist es im Diagramm angeordnet. Somit muss also das Quadrat als merkmalsreichstes Viereck an oberster Stelle positioniert werden. Je weniger Merkmale ein Viereck besitzt, desto niedriger ist es im Diagramm angeordnet. Das allgemeine Viereck als merkmalsärmstes Viereck muss also an unterster Stelle positioniert werden.

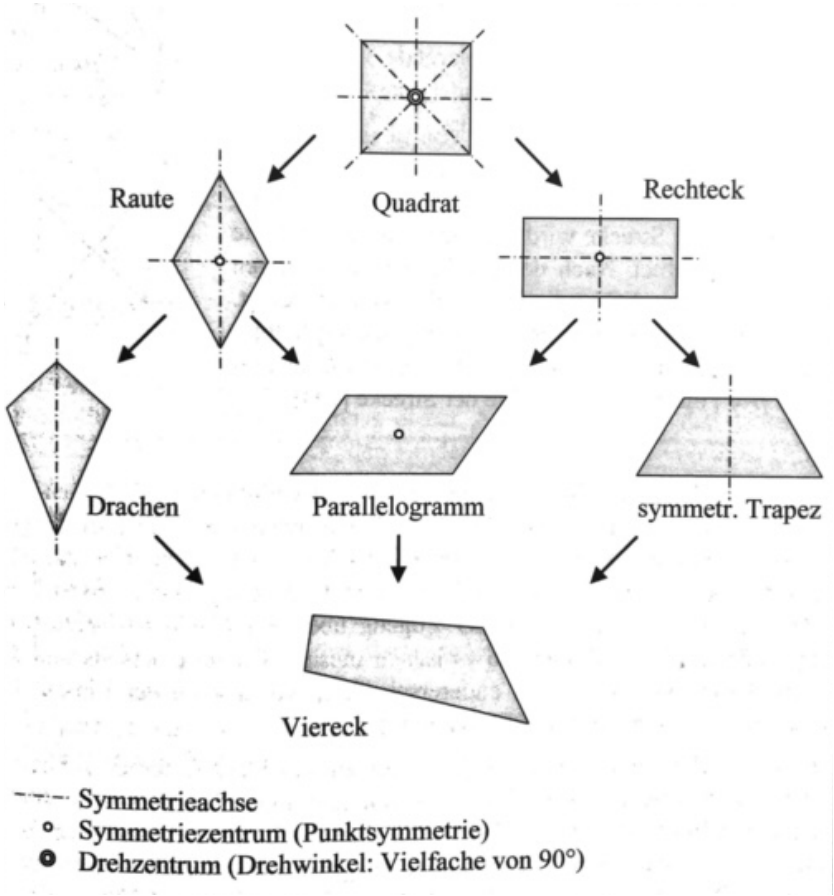


Abbildung 21: Das ‘Haus der Vierecke’ (entnommen aus Roth & Wittmann, 2014, S. 137)

Durch dieses, zum erstgenannten gegensinnig laufende Diagramm wird deutlich, dass – wenn man die Pfade der Pfeile von oben nach unten betrachtet – durch die Reduktion spezifischer Eigenschaften neue Viereckssarten entstehen. Das Quadrat bspw. besitzt vier gleich lange Seiten

und vier rechte Innenwinkel. Wird die Anzahl der rechten Winkel reduziert, entsteht eine Raute. Reduziert bzw. halbiert man die Anzahl der gleichlangen Seiten, entsteht ein Rechteck.

Das im Kinderfunkkolleg dargestellte 'Haus der Vierecke'

Der Radiobeitrag beginnt mit der Fokussierung auf die Besonderheit des Quadrates als merkmalsreichstes Viereck und bezeichnet es als „Königin der Vierecke" (MV, Z. 115). Damit bezieht sich die Sendung auf diejenige Darstellung des Hauses, in der das Quadrat ganz oben im Haus verortet wird.[22] Um diese Klassifikation noch anschaulicher zu gestalten wird im Primarstufenkontext – so auch in der Sendung – häufig von Stockwerken, Zimmern, Etagen und Verwandtschaften gesprochen, wenn es um die Beschreibung der Beziehungen der Vierecke geht. So wohnt das allgemeine Viereck dann z.B. im Keller oder das Rechteck eine Etage unter dem Quadrat (Abb. 22). Außerdem werden im Radiobeitrag vereinfachte Begriffe genutzt (‚Drachen' statt ‚Drachenviereck' und ‚Trapez' statt ‚gleichschenkliges Trapez'). Das auditiv vermittelte 'Haus der Vierecke' würde also visualisiert und beschriftet folgendermaßen aussehen:

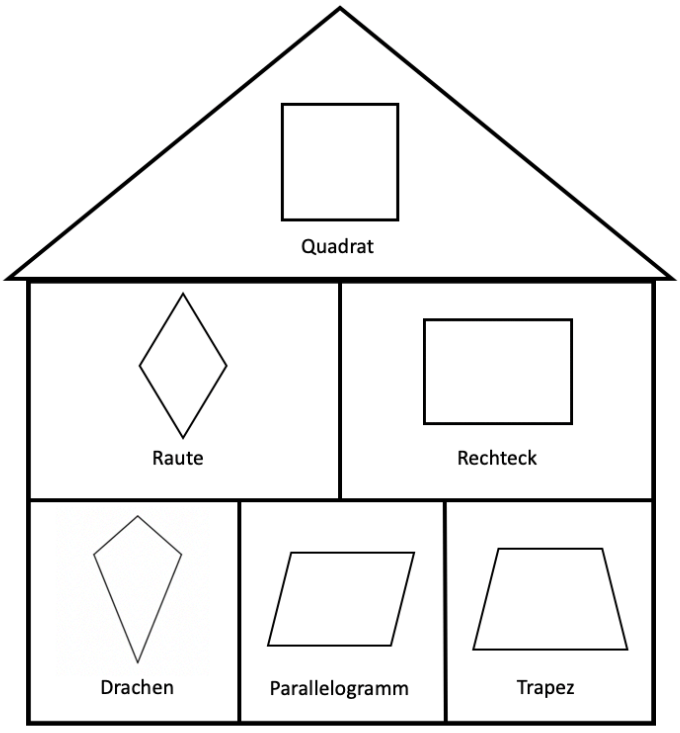


Abbildung 22: Das 'Haus der Vierecke' wie es in der Radiosendung dargestellt wird

[22] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wer-wohnt-im-haus-der-vierecke/o-tone-anhoren.

Auch ohne die komplexe Darstellung eines Diagrammes mit Pfeilen kann dieses vereinfachte ‘Haus der Vierecke’ die Beziehungen der Begriffe bzw. Vierecke zueinander verdeutlichen. Es zeigt, dass Vierecke, die sich oberhalb eines beliebigen Vierecks befinden, eine besondere Form oder ein Sonderfall dieses Vierecks sind. Sie besitzen also zusätzlich zu allen Eigenschaften des Vierecks unter ihnen noch eine oder mehrere spezifizierende Eigenschaften. So ist das Quadrat sowohl eine besondere bzw. spezielle Raute (eine Raute mit vier rechten Winkeln) als auch ein besonderes Rechteck (ein Rechteck mit vier gleich langen Seiten). Ebenso ist das Rechteck ein besonderes Trapez (ein Trapez mit vier rechten Winkeln) und ein besonderes Parallelogramm (ein Parallelogramm mit vier rechten Winkeln). Diese Verwandtschaftsbeziehungen (MV, Z. 107, 146, 192) verlaufen von oben nach unten. Ein Quadrat ist *immer* auch ein Rechteck, da es vier rechte Winkel hat. Ein Rechteck ist jedoch *kein* Quadrat – es sei denn, es hat vier gleich lange Seiten. Diese einfachen Beobachtungen können auch schon in der Primarstufe durch Erkundungen angebahnt werden, bevor das ‘Haus der Vierecke’ dann in der Sekundarstufe vollumfänglich und detailliert behandelt wird. Eine solche erste Erkundung soll durch den Radiobeitrag und seinen Einsatz in der Lernumgebung angestrebt werden

5.2.5 Fachdidaktische Analyse

Trotz des Ursprungs aus und der hohen Bedeutung für die Lebensumwelt, begann der Geometrieunterricht noch bis in die 60er Jahre erst im fünften Schuljahr und wurde erst im Rahmen der Reform der Grundschulmathematik im Jahre 1968 durch die Kultusministerkonferenz generell auch für die Grundschule verankert – jedoch noch mit recht wenig konkreten Hinweisen (Franke, 2007, S. 6). Über die Jahre hinweg folgten dafür weitere Stellungnahmen von wichtigen Konferenzen, Beschlüsse und Veränderungen (zusammenfassend z.B. bei Franke, 2007), die hier nicht weiter thematisiert werden sollen, jedoch zum heutigen Stand führten, der als Grundlage für diese Arbeit – und generell für die Entwicklung eines an die aktuellen Standards angepassten Geometrieunterrichts – dienen soll. Richtungsgebend lassen sich hier z.B. die ‚Grundideen der Elementargeometrie‘ nennen, die von Wittmann (1999) vorgeschlagen wurden (Geometrische Formen und ihre Konstruktion, Operation mit Formen, Koordination, Maße, Muster, Formen in der Umwelt und Geometrisieren). Franke (2007) zieht aus den verschiedenen Tendenzen die Schlussfolgerung, dass es eine didaktische Konzeption braucht, die kein enger Stoffplan ist, sondern nur Kernideen ausweist, „die im Sinne eines Spiralcurriculums über alle vier Grundschulklassen

und darüber hinaus durch treffende Unterrichtsbeispiele verwirklicht werden können“ (S. 15) und formuliert acht solcher Kernideen (Franke, 2007, S. 15ff.):

- Geometrische Formen
- Operieren mit Formen
- Beziehungen zwischen Formen
- Räumliches Vorstellungsvermögen
- Geometrische Figuren erkennen, benennen und darstellen
- Einfache geometrische Abbildungen erkennen, benennen und darstellen
- Flächen- und Rauminhalte vergleichen und messen
- Sachaufgaben mit geometrischen Mitteln lösen

Weiterhin fordert sie, dass diese Kernideen im Sinne eines Spiralcurriculums für die weiterführenden Schulen fortgesetzt werden, um Kontinuität im Geometrieunterricht zu sichern (Franke, 2007). Da die fachdidaktische Vorschläge der Bildungsstandards und die Curricula nicht immer identisch sind, sollen deshalb nun die curricularen Vorgaben zu den im Radiobeitrag thematisierten Inhalten in den Blick genommen werden.

Curriculare Einordnung

Im Hinblick auf die Bildungsstandards für das Fach Mathematik im Primarbereich ist die Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* sowohl der inhaltsbezogenen Kompetenz ‚Raum und Form‘ zuzuordnen (durch das Thematisieren der geometrischen Körper sowie die vertiefte Behandlung der ebenen Figuren insb. der Vierecke) als auch der inhaltsbezogenen Kompetenz ‚Muster, Strukturen, funktionaler Zusammenhang‘, da die Vierecke durch die Kenntnis über ihre Zusammenhänge in die Begriffshierarchie eingeordnet werden (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 15ff). Außerdem werden die prozessbezogenen Kompetenzen ‚mathematisch Kommunizieren‘, ‚mathematisch Argumentieren‘, ‚mathematisch Darstellen‘, sowie ‚mit mathematischen Objekten und Werkzeugen arbeiten‘ angesprochen und gefördert (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 9ff.). Das mathematische Kommunizieren findet sowohl im Plenum als auch in der Gruppenarbeit statt: durch den Austausch über die gehörten Radiosequenzen und die Ergebnisse aus den Arbeitsphasen. Dabei spielt der Gebrauch mathematischer Fachbegriffe eine tragende Rolle. Zum ‚mathematischen Argumentieren‘ werden die Lernenden angeregt, da die Einordnung in das ‘Haus der Vierecke’ sowie die Klärung der Verwandtschaften begründet (durch eigene Erkenntnisse bzw. die Ergebnisse aus den eigenen Untersuchungen) vorgenommen werden soll. Die prozessbezogene Kompetenz

‚mathematisches Darstellen' zeigt sich durch das „verständige Umgehen mit bildlichen, symbolischen, materiellen, verbal-sprachlichen sowie grafisch-visuellen und tabellarischen Darstellungen, die mathematische Objekte und Sachverhalte repräsentieren [sowie] das Vernetzen von mathematischen Darstellungen" (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 11). Das Spektrum der Kompetenz ‚mit mathematischen Objekten und Werkzeugen arbeiten' reicht „vom sicheren und adressatengerechten Verwenden mathematisch geeigneter Begriffe und Zeichen bis hin zum flexiblen und sachgerechten Umgang mit mathematischen Objekten und Werkzeugen" (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 12).

Geometrische Kompetenzen von Grundschülern

Im Folgenden werden Ziele, Funktionen und inhaltsbezogene Anforderungen dargestellt, die in der fachdidaktischen Literatur vorgeschlagen und in den Kompetenzerwartungen der Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz für den Geometrieunterricht – bzw. speziell für die Erarbeitung von ebenen Figuren – vorgegeben sind. Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, lässt sich der Radiobeitrag – und somit auch die Lernumgebung in der er eingesetzt wurde – in der Leitidee ‚Raum und Form' verorten, welche durch die Novellierung 2022 eine neue Akzentuierung bekommen hat:

> Diese Leitidee ist auf die Entwicklung des räumlichen Vorstellungsvermögens gerichtet und beinhaltet den Umgang mit Objekten in Ebene und Raum sowie darauf bezogene Prozesse wie das geometrische Abbilden. Konkrete Handlungserfahrungen werden vertieft, systematisch geordnet, genutzt und spiralcurricular erweitert. Übergreifend spielen dabei das Begriffsverständnis und das geometrische Zeichnen eine Rolle, indem Eigenschaften und Beziehungen in den Mittelpunkt rücken und geometrische Objekte mit geeigneten Medien (einschließlich digitaler Mathematikwerkzeuge) dargestellt werden. (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 16)

Zwei Aspekte werden in dieser neuen Formulierung besonders betont: die Ausrichtung auf das räumliche Vorstellungsvermögen sowie die übergreifende Rolle von Begriffsverständnis und geometrischem Zeichnen durch oder mithilfe eines Fokus auf Eigenschaften und Beziehungen von Figuren. Die Leitidee erfährt auf diese Weise eine neue Konnotation und verschärft den Blick auf die Ausbildung von räumlich-visuellen Fähigkeiten und Begriffsverständnis.

Der Radiobeitrag liefert einen guten Ansatz, um ebendiese Aspekte anzuregen, und es scheint lohnenswert zu untersuchen, wie er zum Erreichen dieser Ziele produktiv eingesetzt werden kann. Ob diese ‚Rolle' eine besondere Funktion im Hinblick auf räumlich-visuell

erfahrbare Beziehungen beinhaltet, muss weiter reflektiert und diskutiert werden. Neben dieser übergeordneten Ausrichtung, formuliert die Kultusministerkonferenz (2022b, S. 16f.) drei Hauptbereiche geometrischer Kompetenzen, die hier nur verkürzt – mit Fokus auf die zum Inhaltsbereich der Radiosendung passenden Teilbereiche – dargestellt werden sollen:

1. *Über räumliches Vorstellungsvermögen verfügen:* Dazu gehören z.B. das Erkennen, Beschreiben und Nutzen räumlicher Beziehungen sowie das gedankliche Operieren mit geometrischen Objekten (z. B. zerlegen, falten, drehen, spiegeln, bauen).
2. *Geometrische Figuren erkennen, benennen und darstellen:* Hierzu sollen z.B. Körper und ebene Figuren nach Eigenschaften klassifiziert werden, Fachbegriffe zugeordnet und Beziehungen zwischen geometrischen Figuren beschrieben werden. Außerdem fertigen die Lernenden Zeichnungen geometrischer Figuren mit und ohne Hilfsmittel an, auch unter Nutzung digitaler Werkzeuge.
3. *Geometrische Abbildungen erkennen, benennen und darstellen:* Geometrische Figuren werden abgebildet und verändert (z.B. verkleinert, vergrößert oder gespiegelt).

Diese Bestimmungen lassen sich im Einklang mit einschlägiger fachdidaktischer Literatur interpretieren. So betont Schipper (2013) neben den prozessbezogenen Kompetenzen und inhaltsbezogenen Anforderungen (wie dem Erkennen von Figuren und ihren Eigenschaften, dem Untersuchen auf Symmetrien oder dem Anfertigen von geometrischen Zeichnungen) zusätzlich die Bedeutsamkeit allgemeinerer Ziele und Funktionen. Der Autor nennt hier die Förderung von räumlichem Vorstellungsvermögen, die Entwicklung einer Entdeckerhaltung bei der Lösung geometrischer Probleme und – wie auch in der untersuchten Lernumgebung gegeben (Kap. 5.2.7) – das Erforschen geometrischer Figuren mithilfe von Forscheraufträgen (Anhang A5). Auch Franke (2007) führt drei Bereiche geometrischer Kompetenzen auf, die in der Primarstufe entwickelt werden sollen und in den meisten Testverfahren zu geometrischen Kompetenzen aufzufinden sind:

> - Räumliches Wahrnehmungsvermögen als fundamentale Operation, auf der alle übrigen Fähigkeiten aufbauen.
> - Räumliches Vorstellungsvermögen, welches neben dem Erkennen von Objekten aus verschiedenen Blickwinkeln auch gedankliche Transformationen und Relationen von Objekten oder einzelnen Teilen sowie die Orientierung des Betrachters im gedachten Raum umfasst.
> - Geometrisches Begriffswissen, das in verbaler Form oder auch als „Bildwissen“ in das Lösen aller Testaufgaben eingeht bzw. Ziel des betreffenden Tests ist. (S. 121)

Auch hier wird der Fokus auf die Ausbildung von räumlich-visuellen Fähigkeiten und Begriffsverständnis deutlich, weshalb die Novellierung der Bildungsstandards in ebendiese Richtung als sehr positiv zu bewerten ist.

Entwicklung räumlicher Fähigkeiten

Grundlegend wird in der Literatur (z.B. Franke, 2007, S. 56) zwischen drei räumlichen Fähigkeiten unterschieden:

- Visuelle Wahrnehmung
- Räumliches Vorstellungsvermögen
- Räumliches Denken

Visuelle Wahrnehmung ist die sinnliche Wahrnehmung, durch die Sinneseindrücke registriert werden (Maier, 1999, S. 14). Durch die gedankliche Verarbeitung dieser Sinneseindrücke können Vorstellungsbilder entstehen, die auch ohne das Vorhandensein der realen Objekte verfügbar sind und die nicht nur abgerufen werden können, sondern mit denen auch mental operiert werden kann (Maier, 1999). Die Fähigkeiten des Räumlichen Vorstellungsvermögens sind wiederum die Grundlage für Raumgeometrisches Denken (Abb. 23) – eine wesentliche Dimension der menschlichen Intelligenz, wie Thurstone (1937) als wohl einer der ersten festgestellt hat. Er beschreibt sieben „primary abilities in visual thinking“ (Thurstone, 1950, S. 517), die er mit raumgeometrischem Denken verknüpft und als Grundbedingung für Intelligenzleistung (Intelligenz gemäß dem damaligen Verständnis) ansieht.



Abbildung 23: Räumliche Fähigkeiten (in Anlehnng an Franke 2007, S. 56)

Da durch den Einsatz von auditiven Medien nur der auditive Sinneskanal angesprochen wird und keine Informationen auf der visuellen Ebene geboten werden, müssen räumliche Vorstellungen selbstständig entwickelt werden. Das räumliche Vorstellungsvermögen kann also angeregt und gefördert werden. Deshalb soll im Folgenden besonders diese räumliche Fähigkeit betrachtet werden. Doch auch die visuelle Wahrnehmung wird durch einige Arbeitsaufträge der Lernumgebung angesprochen und soll deshalb in die Analyse mit einbezogen werden.

Visuelle Wahrnehmung bzw. räumliches Wahrnehmungsvermögen

Durch den Einsatz des Beitrages *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* werden einige Komponenten der visuellen Wahrnehmung angesprochen und herausgefordert. Zum einen wäre da die Wahrnehmungskonstanz. Sie beschreibt „die Fähigkeit, Figuren in der Ebene oder im Raum in verschiedenen Größen, Anordnungen, Lagen oder Färbungen wiederzuerkennen und von anderen Figuren zu unterscheiden“ (Franke, 2007, S. 41). Zur Wahrnehmungskonstanz gehören die Größenkonstanz und die Formenkonstanz. Die Größenkonstanz liegt vor, „wenn die Objekte unabhängig von ihrem Netzhautbild aus unterschiedlichen Entfernungen gleich groß wahrgenommen werden“ (Franke, 2007, S. 39). Dementsprechend liegt die Formenkonstanz vor, wenn die Form des Objektes als konstant wahrgenommen wird, „obwohl das Netzhautbild bei unterschiedlichen Betrachtungswinkeln und durch die Bewegung des Betrachters ständig variiert“ (Franke, 2007, S. 40). Ein Würfel kann von Grundschülern auch dann als solcher erkannt werden, wenn er auf einer Ecke steht oder eine Längsseite im Vordergrund steht und ein Sechseck wird auch als solches erkannt, wenn es an unterschiedlicher Position und in unterschiedlicher Lage in einer komplexen Figur zu sehen ist (Franke, 2007). Auch über einzelne Objekte hinaus können Eigenschaften wahrgenommen werden:

> Die Wahrnehmung räumlicher Beziehungen ist die Fähigkeit, Beziehungen zwischen räumlichen Objekten zu erkennen und zu beschreiben. Diese Fähigkeit äußert sich beispielsweise, wenn die Kinder erkennen, ob sich Linien schneiden, Figuren berühren oder überlappen. (Franke, 2007, S. 47)

Bei der Untersuchung der einzelnen Vierecke sowie während des Anstellens von Vergleichen zwischen verschiedenen Vierecken wird die Wahrnehmung räumlicher Beziehungen angeregt. Beziehungen zwischen Objekten (wie die Parallelität von Seiten oder die Rechtwinkligkeit) werden erkannt und beschrieben. Schipper (2013) spricht hier vom „Erkennen räumlicher

Beziehungen und Strukturen“ (S. 250). Kinder sollen die räumlichen Anordnungen von Objekten und ihre Beziehungen untereinander erfassen. Dabei bleibt die Figur, deren Struktur erfasst werden soll, vorerst unverändert.

Da sich parallel zu der visuellen Wahrnehmung auch das zugehörige Gedächtnis entwickelt, führt Hoffer (1977) ergänzend zu den gängigen Bereichen der visuellen zwei weitere Komponenten der visuellen Wahrnehmung auf: das visuelle Gedächtnis und die visuelle Unterscheidung. Für die Arbeit mit auditiven Medien ist besonders das visuelle Gedächtnis von Bedeutung:

> Das visuelle Gedächtnis ist die Fähigkeit, charakteristische Merkmale eines nicht mehr präsenten Objektes vorstellungsmäßig auf andere, präsente Objekte zu beziehen. Um beispielsweise einen würfelförmigen Baustein suchen zu können oder um ein Quadrat in einer komplexen Figur zu finden, muss sich das Kind merken, wie dieser Würfel oder das Quadrat aussieht. Diese Fähigkeit ist insbesondere immer dann erforderlich, wenn die Aufträge verbal gegeben werden. (Franke, 2007, S. 50)

Diese verbale Form der Aufträge liegt bei der Informationsvermittlung durch auditive Medien eindeutig vor. Die Objekte, von denen gesprochen wird, liegen nicht vor. Die charakteristischen Merkmale dieses Objektes müssen also entweder abgerufen oder neu in ein mentales Vorstellungsbild eingesetzt werden. Auf diese Weise kann durch den Einsatz von auditiven Medien das visuelle Gedächtnis trainiert werden.

Visuelle Wahrnehmung bzw. räumliches Wahrnehmungsvermögen

Während es bei der visuellen Wahrnehmung um das konkrete Operieren mit tatsächlich vorhandenen Objekten im dreidimensionalen Raum geht, versteht man unter dem räumlichen Vorstellungsvermögen „die Fähigkeit, in der Vorstellung räumlich zu sehen und räumlich zu denken“ (Maier, 1999, 14) sowie ein mentales Operieren mit räumlichen Objekten, die nicht tatsächlich vorliegen (Franke, 2007). Sinneseindrücke werden also nicht nur registriert (Wahrnehmung), sondern mental verarbeitet zu Vorstellungsbildern, auf die auch ohne das Vorhandensein der realen Objekte zugegriffen werden kann (Maier, 1999). Räumliche Vorstellungen werden dabei unterteilt in Erinnerungsbilder (Ergebnisse von Tätigkeiten mit räumlichem Material) und Produkte der Einbildungskraft (Ilgner, 1974). Produkte der Einbildungskraft können durch reproduzierte und durch schöpferische Einbildungskraft entstehen. Durch die reproduzierte Einbildungskraft können – wie durch die Radiosendung angeregt – neue Bilder auf Grundlage von verbalen Angaben entstehen. Durch die

schöpferische Einbildungskraft können Vorstellungen über noch nicht bekannte Körper entstehen sowie Schlussfolgerungen gezogen werden. Inwiefern diese Einbildungskräfte bzw. diese Vorstellungen tatsächlich bei den Schüler:innen angeregt werden und erfolgreich verlaufen, soll in den Detailanalysen untersucht werden (Kap. 8).

Da diese Fähigkeit wie eingangs schon beschrieben substantiell zur Ausbildung des raumgeometrischen Denkens und damit in einer Vielzahl von Ansätzen und Theorien als ein wichtiger Faktor zur Intelligenz beiträgt sowie große lebenspraktische Bedeutung trägt (zusammenfassend: Maier, 1999), ist es besonders wichtig, die Förderung des räumlichen Vorstellungsvermögens als ein grundlegendes Ziel des Geometrieunterrichts zu verstehen: es sollen die Fähigkeiten der Lernenden gefördert werden, mit zwei- oder dreidimensionalen Objekten in der Vorstellung operieren zu können (Schipper, 2013).

Das räumliche Vorstellungsvermögen wird durch verschiedene Theorien unterschiedlich definiert (Ein-, Zwei- bzw. Drei-Faktoren-Theorien; siehe dazu z.B. Maier, 1999). Der wohl meistzitierte Ansatz ist die Drei-Faktoren-Theorie von Thurstone (1949, 1950), in der das räumliche Vorstellungsvermögen in drei wesentliche Unterkomponenten unterteilt wird:

- Veranschaulichung (visualization)
- Räumliche Beziehungen (spatial relations)
- Räumliche Orientierung (spatial orientation)

Damit liefert Thurstone eine sinnvoll interpretierbare Binnenstruktur von epochaler Bedeutung (Maier, 1999). Aufbauend auf den Ergebnissen einer weiteren bedeutenden Analyse zur Raumvorstellung unterscheiden Linn und Petersen (1985; 1986) „die Komponenten *Veranschaulichung (Visualization), Räumliche Wahrnehmung (spatial perception) und die Fähigkeit zur mentalen Rotation (mental rotation)* [Hervorhebung im Original]“ (Franke, 2007, S. 55). Die Erläuterungen und Beispiele dieser beiden Drei-Faktoren-Theorien weisen eine Überlappung zwischen der Fähigkeit zur mentalen Rotation nach Linn und Petersen und der Veranschaulichung bei Thurstone auf. Franke (2007) beschreibt die Begriffswahl als teilweise ungünstig, „da beispielsweise die Aufgaben zur räumlichen Wahrnehmung nicht identisch sind mit der oben beschriebenen visuellen Wahrnehmung“ (S. 55). Sie fasst deshalb beide Theorien zusammen und nennt vier Teilkomponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens, die in Abbildung 23 schon dargestellt waren:

- *Räumliche Wahrnehmung (spatial perception):* „die Fähigkeit, räumliche Beziehungen in Bezug auf den eigenen Körper zu erfassen“ (Franke, 2007, S. 57).
- *Räumliche Beziehungen (spatial relations):* „das richtige Erfassen räumlicher Gruppierungen von Objekten oder Teilen von ihnen und deren Beziehungen

untereinander“ (Franke, 2007, S. 57) sowie „die Fähigkeit, sich Transformationen (z.B. Rotation oder Translation) von Objekten (starren Einheiten) vorzustellen, ohne dass deren Gesamtgestalt zerstört oder verändert wird“ (Franke, 2007, S. 58).

- *Veranschaulichung (visualization):* „die gedankliche Vorstellung von räumlichen Bewegungen wie Drehungen, Verschiebungen und Faltungen von Objekten bzw. Teilen von ihnen sowie gedankliches Zerlegen und Zusammensetzen ohne Verwendung anschaulicher Hilfen“ (Franke, 2007, S. 60) sowie „die Fähigkeit, sich Veränderungen innerhalb einer Figur vorzustellen. Diese Bezeichnung ist in der Übersetzung missverständlich. Da es sich immer um eine Veränderung des Objektes oder von Teilen handelt, könnte dieser Subfaktor auch als „Vorstellung von Veränderungen einer Figur“ (Franke, 2007, S. 62) bezeichnet werden. Aufgaben zu dieser Vorstellung von Veränderungen erfordern das mentale Bewegen eines Objekts bzw. von Teilen dieses Objektes. Schipper (2013, S. 25) nennt hier als förderliche Tätigkeiten z.B. Kippbewegungen und Abwicklungen von Körpern sowie Aufgaben aus dem Bereich der Symmetrie, bei denen die Kinder sich z.B. Faltvorgänge vorstellen sollen.
- *Räumliche Orientierung (spatial orientation):* „die Fähigkeit, sich real oder mental im Raum zurechtzufinden“ (Franke, 2007, S. 64) durch die räumliche Einordnung der eigenen Person in eine räumliche Situation.

Wie Maier (1999) aus ca. 40 Studien zusammenfassend darstellt, lässt sich räumliches Vorstellungsvermögen entwickeln und fördern. Genutzt werden hier vor allem visuelle Modelle. Doch auch Studien, deren Training auf handlungsorientierten Aktivitäten mit physikalischen Modellen und Medien basiert, verzeichnen starke bis sehr starke Trainingseffekte. Hier rückt vor allem der Subfaktor ‚räumliche Beziehung‘ in den Fokus. Auch darstellende Geometrie (z.B. Zeichnen, Herstellen) sowie spezielle Computerprogramme und Videospiele wurden und werden effektiv für die Förderung räumlichen Vorstellungsvermögens genutzt. Wichtig ist dabei immer, dass den Lernenden Aufgaben präsentiert werden, die zum räumlichen Denken anregen. Weiterhin bieten sich Vorstellungsübungen bzw. kopfgeometrische Aufgaben an. Eine solche Vorstellungsübung wird auch in der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* gestellt, deshalb sollen die Eigenschaften und Potenziale dieser Aufgabenart im Folgenden kurz dargestellt werden.

Förderung des räumlichen Vorstellungsvermögens durch Kopfgeometrie

Übungen zur Kopfgeometrie können als Pendant zum Kopfrechnen im arithmetischen Bereich angesehen werden. Sie stellen das wichtigste Mittel zur Schulung des räumlichen

Vorstellungsvermögens dar und besitzen somit erstrangige didaktische Relevanz (Maier, 1999). In den Bildungsstandards werden sie innerhalb der Kompetenz ‚Über räumliches Vorstellungsvermögen verfügen' eingefordert: „Die Schülerinnen und Schüler … operieren (z.B. zerlegen, falten, drehen, spiegeln, bauen) mit geometrischen Objekten gedanklich" (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 16). Geometrische Aktivitäten müssen also „nicht rein mechanisch ausgeführt, sondern ‚vorgedacht' werden; viele Aufgaben erfordern schließlich mentale Veränderung von Figuren, wobei streckenweise ohne anschauliche Hilfsmittel gearbeitet werden muss" (Maier, 1999, S. 306). Neben der Schulung des räumlichen Vorstellungsvermögens nennt Maier (1999) noch weitere Ziele der Anwendung kopfgeometrischer Aufgaben:

- Anleitung zur sorgfältigen Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung,
- Aufbau einer gesteigerten Lernmotivation …,
- Training des Intelligenzfaktors *Merkfähigkeit* [Hervorhebung im Original] …, wenn beispielsweise eine Figur transformiert wird, gleichzeitig aber auch die Ausgangsfigur von Bedeutung bleibt,
- Training der Konzentrationsfähigkeit,
- Beweglichkeit des Denkens,
- Förderung der Kreativität. (S. 299)

Besonders die Anleitung zur sorgfältigen Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung sowie das Training der Konzentrationsfähigkeit und der Merkfähigkeit stellen eine Schnittstelle zwischen kopfgeometrischen Aufgaben im Allgemeinen und der Radiosendung als rein auditives Mediums dar. Auch Franke (2007) betont, dass kopfgeometrische Aufgaben das visuelle Wahrnehmungs- sowie das räumliche Vorstellungsvermögen schulen, da sie im Kopf, d.h. mental in der Vorstellung zu lösen sind. Die Lernenden müssen sich geometrische Objekte vorstellen und mit ihnen mental operieren (ihre Lage, Größe oder Form verändern; sie zerlegen oder zusammensetzen).

In der Idee der Reformpädagogik wird Kopfgeometrie sehr eng gefasst und soll am besten mit geschlossenen Augen durchgeführt werden. Heute werden zumeist auch Tätigkeiten wie „das Zeichnen (nicht das Abzeichnen!) einer einfachen geometrischen Figur, bei der das Kind das innerlich Vorgestellte in einer Zeichnung abbilden muss" (Maier, 1999, S. 50; siehe auch Radatz und Rickmeyer, 1991) als kopfgeometrisch bezeichnet. Hier erfolgt also eine Externalisierung des mental Vorgestellten. Im Sinne dieser engen oder breiten Auffassung von Kopfgeometrie kann eine *Typisierung von Aufgabenstellungen zur Kopfgeometrie* nach dem Einsatz von Hilfsmitteln vorgenommen werden (Senftleben, 1996, S. 54-59):

- *Reine Kopfgeometrie:* keinerlei Hilfsmittel
- *Kopfgeometrie mit Hilfsmitteln in Phase 1:* unterstützende Hilfsmittel in der Aufgabenstellung (Bild, Körper, Modell etc.)
- *Kopfgeometrie mit Hilfsmitteln in Phase 3:* unterstützende Hilfsmittel bei der Darstellung der Ergebnisse (zeichnen, bauen, mit Händen andeuten etc.)
- *Kopfgeometrie mit Hilfsmitteln in Phase 1 und 3:* unterstützende Hilfsmittel in der Aufgabenstellung und bei der Darstellung der Ergebnisse.

In jedem Fall sollen in Phase 2, dem eigentlichen Lösen der Aufgabe, keine Hilfsmittel genutzt werden, da sonst der Bereich der Kopfgeometrie verlassen wird. Möglich wäre jedoch eine Kontrollphase 4, in der die Lernenden „selbstständig durch Handeln mit Material überprüfen können, ob ihr kopfgeometrisch bestimmtes Resultat auch richtig ist“ (Senftleben, 1996, S. 56). Franke (2007) berichtet, dass manuelle Handlungen und Skizzen bei der Aufgabenstellung und der Ergebnisformulierung häufig helfen, die Aufgabe zunächst zu verstehen bzw. ihre Überlegungen zu erläutern.

Bezogen auf die kopfgeometrische Aufgabe in der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* kann festgehalten werden, dass diese – bei der Erstrezeption – als reine Kopfgeometrie gesehen werden kann. Ohne Hilfsmittel in keiner der Phasen soll der Faltauftrag nachvollzogen und Vermutungen über das Ergebnis angestellt werden. Die in der untersuchten Lernumgebung eingeplante Zweitrezeption kann als Kontrollphase angesehen werden. Hier bekommen die Lernenden ein Quadrat aus Papier und können am Material überprüfen, ob ihr kopfgeometrisch bestimmtes Resultat richtig ist. Auch einige Aufgaben im Forscherheft können als kopfgeometrische Aufgaben im weiteren Sinne (Radatz & Rickmeyer, 1991) gesehen werden, da hier durch die Zeichnung des auditiv beschriebenen Viereckes das innerlich Vorgestellte abgebildet werden muss. Die mentale Vorstellung wird also externalisiert (siehe Kap. 2.2.1).

Aufgabenstellungen können materielle Objekte oder Darstellungen sein oder eben – wie auch in Webers ‚mathematischen Vorstellungsübungen‘ (Weber, 2007) – rein sprachliche Beschreibungen (Müller, 1995). Typisch für die reine Kopfgeometrie ist die Verbalisierung einer geometrischen Fragestellung. Diese Form ist auch die einzig mögliche und offensichtliche in der Gestaltung eines auditiven Mediums. Durch kopfgeometrische Aufgaben kann also nicht nur geometrisches Wissen vertieft, sondern können auch sprachliche Kompetenzen gefordert und so weiterentwickelt werden. Auch die Ergebnisse kopfgeometrischer Aufgaben befinden sich in der Vorstellung und müssen mit Hilfe der Sprache beschrieben werden. Nach Senftleben (1996) beinhaltet Kopfgeometrie ein visuelles Operieren mit Objekten in der Vorstellung auf

der Grundlage geometrischer Grundbegriffe, welches sich in der Ergebnisdarstellung versprachlichen kann. „Eine derartige Kopfgeometrie setzt Wissen über entsprechende geometrische Begriffe voraus und erfordert vor allem die Fähigkeit, in solchen Begriffen und Kategorien zu denken“ (Senftleben, 1996, S. 54). Dieses geometrische Begriffswissen gilt es also gleichzeitig mit in den Blick zu nehmen.

Begriffsbildung in der Geometrie

Während in Kapitel 4.4.3 die Sprachbildung im Mathematikunterricht im Vordergrund stand, liegt der Fokus in den folgenden Ausführungen auf dem Zusammenhang von Sprache und Handeln zur Begriffsbildung im Geometrieunterricht der Grundschule (vgl. dazu auch die Ausführungen in Klose, 2022). Denn „Begriffe sind die Bausteine menschlichen Wissens“ (Franke, 2007, S. 93) und Wissenserwerb geht zwingend mit Begriffserwerb einher. Durch die Bildung von Begriffen werden aufgenommene Informationen zweckentsprechend verdichtet und organisiert. Objekte, die gewisse charakterisierende Merkmale (Eigenschaften bzw. Intension) gemeinsam haben, werden unter einem Begriffsnamen oder Begriffswort zu einer Menge (dem Begriffsumfang bzw. der Extension) zusammengefasst und sind damit Beispiele dieses Begriffes (Holland, 2007, S. 45). Es stellt also nicht jedes Wort, jeder Gegenstand oder jedes Ereignis einen Begriff dar, sondern durch einen Begriff wird eine Assoziation mit einer Kategorie oder Klasse hervorgerufen, in die ein konkreter Gegenstand einzuordnen ist (Franke, 2007). Begriffe lassen sich daher „als vernetztes Wissen über mathematische Objekte, Beziehungen, Operationen und Strukturen charakterisieren“ (Maier & Schweiger, 1999, S. 58). Durch sie können Objekte und Erscheinungen hinsichtlich bestimmter Eigenschaften, die sie gemeinsam haben, zusammengefasst werden, sodass spezifische Eigenschaften einzelner Repräsentanten nicht erfasst werden müssen. So ermöglichen und vereinfachen sie sprachliche Kommunikation und beeinflussen sowohl die Leistungen des Gedächtnisses als auch des Problemlösens (Franke, 2007). Aus diesem Grund muss geometrischer Begriffserwerb eine tragende Rolle im Geometrieunterricht spielen. Er ist hinführend zum Nachvollziehen und Verwenden von Definitionen sowie zum Erlernen des Definierens (Weigand, 2014). Im Kleinkindalter werden Begriffe vorwiegend im Alltag über Erfahrungen und den aktiven Umgang mit Objekten in Verbindung mit Sprache aufgebaut – sie können also sozial und/oder sprachlich vermittelt werden (Franke, 2007). Begriffsbildung geht dabei anfangs von typischen Beispielen aus:

> Die Kinder brauchen zuerst typische Repräsentanten, um eine *Generalisierung* der Zugehörigkeit vornehmen zu können. Erst wenn diese vollzogen ist, können auch untypische Beispiele, die aber auch Repräsentanten des Begriffs sind, als zugehörig erkannt werden. (Franke, 2007, S. 95)

Ausgehend von Prototypen als typische Repräsentanten für einen Begriff können also nachfolgend auch untypische Beispiele als zu einem Begriff zugehörig erkannt werden. Um im Beispiel der Vierecke und dem Inhalt des Radiobeitrages zu bleiben, werden erst Vierecke wie das Quadrat und das Rechteck als typische Repräsentanten für das Viereck thematisiert, bevor dann auch untypischere oder ggf. komplexere Beispiele wie das Trapez und das Parallelogramm in den Blick genommen werden sollen. Dieses Vorgehen passt zum alltäglichen Sprachgebrauch, in dem der Viereckbegriff oft nicht im geometrischen Sinne, sondern in einem engeren Sinne ausschließlich zum Bezeichnen von Quadraten verwendet wird. Auch in sprachlichen Äußerungen von Schulanfängern wird deutlich, dass im Quadrat der Prototyp eines Vierecks gesehen wird (Franke, 2007).

Als allgemeines Ziel der Begriffsbildung oder des Begriffserwerbes lässt sich also die Herstellung vernetzten Wissens über mathematische Objekte, Beziehungen, Operationen und Strukturen festhalten (Maier & Schweiger, 1999). Die Lernenden sollen nicht nur das Begriffswort kennen, sondern mit dem Begriff eine repräsentative Vorstellung verbinden und sich über ihn äußern können. Nach Vollrath (1984) ist ein Begriff verstanden, wenn der Schüler oder die Schülerin

1. eine Definition des Begriffs angeben kann,
2. bei vorgelegten Objekten entscheiden kann, ob sie den Begriff repräsentieren oder nicht,
3. Beispiele als Repräsentanten angeben kann,
4. alle Eigenschaften des Begriffes kennt,
5. den Begriff und seine Eigenschaften zur Beschreibung von Sachverhalten und zum Problemlösen nutzen kann,
6. Ober- und Unterbegriffe kennt und sich der Beziehungen zwischen ihnen bewusst ist.

Durch die Verfolgung dieser Ziele können dann mathematische Argumentationen angestellt werden, warum z.B. eine mathematische Figur die vermutete ist. Durch den Gebrauch des Wissens um Eigenschaften und Ober- bzw. Unterbegriffe kann eine mathematische Beschreibung im Sinne einer Definition angegeben werden:

> Sie dient als Verständnisgrundlage, um sicher zu sein, was unter einem bestimmten Begriff zu verstehen sein soll… Um z.B. den mathematischen Begriff „Trapez“ vollständig beschreiben zu können, wird der Begriff der Parallelität benötigt. Es soll daher präzise gesagt werden, was unter der Parallelität von Geraden in der Geometrie verstanden wird. (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 39)

Damit die Lernenden dabei nicht mit Worthülsen operieren, zu denen sie keine Vorstellung haben, ist von Anfang an darauf zu achten, dass durch Begriffsbildungsprozesse behutsam zum Gebrauch von Fachsprache hingeführt wird (Franke, 2007).

Arten geometrischer Begriffe

Geometrische Begriffe lassen sich im Grundschulbereich mit Blick auf den Inhalt grob in Begriffe für ebene und für räumliche Objekte unterscheiden. Nach logischen Gesichtspunkten unterscheidet Franke (2007, S.100) in Anlehnung an Holland (1996) verschiedene Begriffskategorien:

- *Objektbegriffe* lassen sich durch konkrete Modelle oder Gegenstände repräsentieren wie bspw. alle räumlichen und ebenen Objekte. Jeder Objektbegriff (z.B. auch das Viereck) steht dabei für eine Klasse von Elementen, die gemeinsame Eigenschaften besitzen (z.B. vier Seiten und zwei Diagonale).
- *Eigenschaftsbegriffe* werden zum Definieren von weiteren Begriffen wie z.B. Unterbegriffen genutzt. Durch die Beschreibung bzw. das Festlegen von Eigenschaften (diese können auch Objektbegriffe sein) wird ein Unterbegriff von einem Oberbegriff abgegrenzt. Der Begriff *Würfel* kann also durch den Objektbegriff *Quadrat* beschrieben werden. Der Objektbegriff *Quadrat* wird dann in der Definition eines *Würfels* zu einem Eigenschaftsbegriff.
- *Relationsbegriffe* beschreiben Beziehungen zwischen geometrischen Objekten bzw. Beziehungen von Figuren innerhalb der gleichen Klasse (z.B. parallele Seiten). Hier ist die Relation durch Nennen der Bezüge (hier: die zwei Strecken) zu verdeutlichen, denn – um im Beispiel der Parallelität zu bleiben – es sind immer zwei Objekte parallel zueinander. Ein Objekt alleine kann diese Eigenschaft nicht erfüllen (Helmerich & Lengnink, 2016). Möglicherweise werden Kinder „die Lagebeziehungen umgangssprachlich beschreiben und mit eigenen Begriffen - wie Kreuz oder Ecke – bezeichnen“ (Franke, 2007, S. 316). Diese Erklärungen oder Wortschöpfungen können Gesprächsanlässe und Grundlage für die Begriffsbildung liefern.

In der Geometrie der Grundschule werden also Objektbegriffe genutzt, um konkrete Modelle oder Gegenstände zu benennen, Eigenschaftsbegriffe werden verwendet, um diese Objekte genauer zu definieren und Relationsbegriffe beschreiben die Beziehungen zwischen Objekten bzw. Figuren der gleichen Klasse. Nachfolgend ist die Einteilung der Arten geometrischer Begriffe in der Grundschule in verkürzter und angepasster Form abgebildet (Tab. 4):

	Objektbegriffe	**Eigenschaftsbegriffe**	**Relationsbegriffe**
räumliche Begriffe	Würfel Quader Zylinder Pyramide …	Ecke Kante Seitenfläche dreieckig …	steht neben liegt hinter gegenüber ist senkrecht zu …
ebene Begriffe	Dreieck Viereck Kreis Quadrat …	Ecke Seite krumm rund …	ist deckungsgleich mit ist symmetrisch zu ist parallel zu ist genauso lang wie …

Tab. 4: Einteilung der Arten geometrischer Begriffe in der Grundschule (in Anlehnung an Franke, 2007, S. 101)

Nicht immer ist die Einteilung in verschiedene Arten von Begriffen trennscharf. Einige Begriffe lassen sich nicht eindeutig als eben oder räumlich einordnen oder werden in unterschiedlichem Sinne verwendet (z.B. die ‚Ecke'), und Objektbegriffe treten wie schon erwähnt zum Teil auch als Eigenschaftsbegriffe auf. Von einigen Autoren (z.B. Holland, 1996) wird deshalb keine Unterscheidung zwischen Objekt- und Eigenschaftsbegriffen vorgenommen. Dafür führt Holland (1996) zusätzlich den *Abbildungsbegriff* (z.B. ‚Drehung') und den *Maßbegriff* (z.B. ‚Länge') mit auf. Diese werden von Franke (2007) als Relationsbegriffe zwischen zwei Objekten aufgefasst (z.B. ‚symmetrisch oder ‚gleichlang'), da in der Grundschule als Abbildung im Wesentlichen nur die Achsenspiegelung thematisiert wird und das Messen vorwiegend auf dem direkten Vergleichen von Objekten bzw. dem Auslegen beruht.

Im Manuskript des Radiobeitrages *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* (Anhang A8) lassen sich in Anlehnung an Holland (1996) und Franke (2007) eine Vielzahl ebener Begriffe finden: Im Bereich der Objektbegriffe werden fast alle Vierecke sowie die ebenen Figuren Kreis und Dreieck genannt. Für ihre Beschreibung werden Eigenschaftsbegriffe wie ‚viereckig', ‚breit', ‚quadratisch' u.v.m. genutzt (Kap. 5.2.2). Auch Relationsbegriffe wie ‚gleichlang' oder ‚gegenüberliegend' bzw. Abbildungsbegriffe wie ‚Drehung' werden verwendet. Thematisch liegen die ebenen Figuren und damit auch die ebenen Begriffe im Fokus. Trotzdem lassen sich

gerade am Anfang des Beitrages auch räumliche Objektbegriffe finden (Kugel, Kegel, Quader etc.) sowie zugehörige räumliche Eigenschaftsbegriffe (z.B. rund, spitz).

Beziehungen zwischen Begriffen – Begriffshierarchien

Wie schon erwähnt definiert Vollrath (1984) einen Begriff als verstanden, wenn nicht nur Ober- und Unterbegriffe bekannt sind, sondern den Lernenden auch die Beziehung zwischen diesen Begriffen bewusst ist. Durch die Beziehungen zwischen Begriffen können hierarchische Begriffssysteme gebildet werden, um die Umwelt zu strukturieren und zu klassifizieren (Anderson, 2013; Franke, 2007). Beispielsweise lässt sich die Begriffsfamilie der Vierecke als eine komplexe Begriffshierarchie – das ‚Haus der Vierecke' – darstellen (siehe Abb. 19 in Kap. 5.2.4). Da diese Begriffshierarchie Lerngegenstand der Radiosendung ist, soll an dieser Stelle kurz erläutert werden, wie Objekte innerhalb einer solchen Hierarchie mit unterschiedlichem Allgemeinheitsgrad klassifiziert werden können, um die fachwissenschaftliche Sache aus fachdidaktischer Perspektive zu beschreiben. Grundlegend für jede Klassifikation ist die Tatsache, dass Begriffe Beziehungen zu anderen Begriffen aufweisen. Ihre Repräsentation im Gedächtnis kann mit einem Netzwerk verglichen werden (Anderson, 2013), in welchem die verschiedenen Begriffe (Knoten) durch Beziehungen wie „ist ein", „sieht aus wie" oder auch „hat" verbunden sind (Franke, 2007, S. 96). Durch diese Beziehungen können Ober-, Unter-, sowie nebengeordnete Begriffe beschrieben werden. Die Merkmale der Oberbegriffe fallen auch den untergeordneten Begriffen zu: wenn ein Viereck vier Seiten hat, dann haben es ebenso alle ihm untergeordneten Begriffe (z.B. das Rechteck). Aus der anderen Richtung betrachtet haben alle unter den Unterbegriff fallenden Objekte eine oder mehrere ‚spezifische Merkmale' – also Eigenschaften, die den anderen Objekten des Oberbegriffs nicht zukommen und die sie deshalb von diesen unterscheiden (Holland, 2007, S. 51). Ein Rechteck z.B. hat vier rechte Winkel – ein spezifisches Merkmal, dass es von der Raute (einem anderen Objekt des Oberbegriffs ‚Viereck') unterscheidet. ‚Raute' und ‚Rechteck' sind dafür nebengeordnete Begriffe – also „zwei Begriffe, die einen gemeinsamen Oberbegriff haben, aber von denen keiner Oberbegriff des anderen ist" (Holland, 2007, S. 51). Franke hält fest, dass die Relation zwischen Begriffen eine wichtige Eigenschaft ist, die für die Begriffsbildung im Unterricht genutzt werden kann: „Ein Unterbegriff wird durch den Oberbegriff und - meist nur wenige - differenzierende Merkmale definiert …" (Franke, 2007, S. 97).

Wie in Kap. 5.2.4 beschrieben, besitzt das allgemeine Viereck als Oberbegriff den höchsten Grad an Allgemeinheit und die geringste Anzahl an begriffsbestimmenden

Merkmalen. Das Quadrat im Gegensatz ist ein sehr spezifisches Viereck mit den meisten definierenden Merkmalen und steht deshalb ganz unten in der Begriffshierarchie. Im ‚Haus der Vierecke', welches durch den Radiobeitrag dargestellt wird, wurde eine genau gegensinnige Darstellung gewählt: Das merkmalsreichste Viereck steht ganz oben. Rückbezugnehmend auf die Abb. 21 in Kap. 3.2.4 soll das dort dargestellte Fachwissen über die Eigenschaften und Verwandtschaften der Vierecke nun noch einmal in die Theorie der Arten und Beziehungen von Begriffen eingeordnet werden. Folgendes kann man der Darstellung entnehmen (Franke, 2007, S. 103)

- Jedes Quadrat ist ein Rechteck und eine Raute.
- Jedes Rechteck ist ein Parallelogramm und ein gleichschenkliges Trapez.
- Jedes Quadrat ein Rechteck, ein Parallelogramm und ein gleichschenkliges Trapez
- Rechteck und Raute sind einander nebengeordnete Begriffe ebenso wie Parallelogramm, gleichschenkliges Trapez und Drachenviereck, denn sie beinhalten sich nicht gegenseitig, sind sich also weder über- noch untergeordnet.
- Das Viereck ist Oberbegriff zu allen anderen Begriffen.
- Das Parallelogramm ist Oberbegriff zu Rechteck, Raute und Quadrat.
- Das Quadrat ist dementsprechend Unterbegriff zu bspw. Parallelogramm, Raute und Rechteck.

Aufgrund dieser vielseitigen Beziehungen der Objekte untereinander sind geometrische Begriffe und ihre Begriffshierarchien sehr komplex und daher mitunter für Lernende schwer zu begreifen. Sie dürfen deshalb nicht einfach auswendig gelernt werden, sondern müssen über die Kenntnisse und den Vergleich ihrer Eigenschaften beziehungshaltig erworben werden, um so Vorstellungen aufzubauen und Zusammenhänge entdecken zu können. Wege zu einem solchen Begriffsverständnis sollen im Folgenden dargestellt werden.

Geometrisches Begriffsverständnis

Ähnlich zu den Darstellungen in Kapitel 2.1.5 kann Begriffswissen entweder durch Handlung und visuelle Wahrnehmung als visuelles Vorstellungsbild gespeichert werden oder aber auf verbaler Ebene durch ein Begriffswort (Franke, 2007). Bei der verbalen Speicherung wird das bezeichnende Begriffswort eines geometrischen Objektes durch Merkmale charakterisiert – es werden Eigenschaften und die Beziehungen zwischen den Objekten zu ihren Begriffsworten mitgespeichert. Somit können die Lernenden „Figuren nicht nur aufgrund der visuellen Wahrnehmung und Vorstellung, sondern auch durch ihre Merkmale identifizieren" (Franke,

2007, S. 99). Neue Begriffe können dann mithilfe des Begriffsnetzes (Anderson, 2013) in das bestehende Begriffswissen eingeordnet werden. Dabei gilt wie für viele andere Bereiche auch, dass es für das Lernen und Behalten von Wissen von Vorteil ist, dieses unterschiedlich zu speichern, also handlungsmäßig, bildhaft und verbal (Lambert, 2006).

Wann jedoch ist ein Begriff verstanden? Und wie lässt sich Begriffsverständnis untersuchen und feststellen? Vollrath (1984) beschreibt Verständnis als das Ergebnis eines geistigen Prozesses, des Begriffslernens, welches eine Zustandsänderung im Denken des Lernenden darstellt. Am Ende des Begriffslernens steht also das Begriffsverständnis – ein entwicklungsfähiger Zustand, den man nach Vollrath in Abhängigkeit von dem Begriff und vom Lernenden durch bestimmte Leistungen beschreiben kann:

> Das *Verständnis* eines Begriffs ist ein Zustand, der durch eine Reihe von nachweisbaren Fähigkeiten des Lernenden beschrieben werden kann. Diese Fähigkeiten werden durch wohldefinierte Leistungen nachgewiesen. Je nach Art dieser Fähigkeiten kann man unterschiedliche *Ausprägungen* des Verständnisses feststellen. (Vollrath, 1984, S. 20)

Als Hilfestellung für eine solche Beschreibung wurden verschiedene Modelle entwickelt, in welche die Leistungen des Lernenden eingeordnet und somit die Ausprägungen des Verständnisses gedeutet werden können. Diese werden für die Detailanalyse der Interaktionen aus der untersuchten Lernumgebung von Bedeutung sein (Kap. 8). Grundlegend ist dabei die Annahme von vier Ansprüchen, die mit dem Verständnis eines Begriffs verbunden sind und über Kenntnis einer Definition hinausgehen (Vollrath, 1984; Weigand, 2015):

- *Begriffsinhalt*: Es wird über Vorstellungen zu einem Begriff verfügt und Repräsentanten können hergestellt werden. Weiterhin sind Eigenschaften eines Begriffs sowie deren Beziehungen zueinander bekannt und können in einer Definition des Begriffs angegeben werden.
- *Begriffsumfang*: Typische und besondere Beispiele können als Repräsentanten eines Begriffs genannt sowie Gegenbeispiele angeben werden. Aufgrund der definierenden Eigenschaften wird entschieden, ob ein Objekt einen Begriff repräsentiert oder nicht.
- *Begriffsnetz*: Ober- und Unterbegriffe sowie nebengeordnete Begriffe eines Begriffs und die Beziehungen zwischen diesen sind bekannt.
- *Anwendung des Begriffs*: Der Begriff kann angewendet, d.h. in Modellierungsaufgaben oder beim Problemlösen genutzt werden.

Damit ein Begriff vollumfänglich verstanden ist, reicht es also nicht, dass seine Eigenschaften benannt werden können. Auch das Begriffsnetz muss aufgebaut und die Anwendung erfolgreich sein. Diese Ansprüche an das Lernen von Begriffen können als die o.g. Leistungen

verstanden werden, mit denen nach Vollrath der Zustand des Begriffsverständnisses beschrieben und nachgewiesen werden kann. Die Psychologie versucht weiterhin, wie Vollrath (1984, S. 11) aufführt, geometrisches Begriffslernen zu ergründen, indem sie Modelle entwickelt, mit denen experimentelle Beobachtungen zum Lernen von Begriffen gedeutet werden können. Stufenmodelle zum (geometrischen) Begriffslernen wurden in der Vergangenheit von zahlreichen Mathematikdidaktiker:innen beschrieben. Zentrale Idee dabei ist, dass sich das Verständnis über mathematische Objekte von intuitiven Vorstellungen hin zu einem zunehmend abstrakteren Verständnis entwickelt. Aus diesem Grund unterscheidet Vollrath (1984) in seinem Stufenmodell die vier Stufen intuitives, inhaltliches, integriertes und formales Begriffsverständnis. Eine beispielhafte Beschreibung dieser Stufen anhand des Begriffes *Figur* findet sich in Weigand (2015, S. 275).

Im Folgenden soll das Stufenmodell der van Hiele's erläutert werden, in welchem die Entwicklung geometrischen Denkens aufbauend auf der Erkenntnistheorie nach Piaget dargestellt wird. Die Eheleute van Hiele (1964) stellen die Ergebnisse Piagets in Zusammenhang mit dem Verlauf eines kontrollierbaren Lernprozesses und entwickeln darauf ihr *Modell der fünf Denkebenen* darstellen. Diese für Geometrie gekennzeichneten Niveaustufen sind in der Entwicklung des geometrischen Denkens inhärent, müssen also nacheinander durchlaufen werden. Dabei zeichnet sich jede Stufe durch spezifische Merkmale aus, die Franke (2007, S. 114–118) folgendermaßen beschreibt:

0. Niveaustufe: räumlich-anschauungsgebundenes Denken:

In der Umgebung werden räumliche geometrische Beziehungen erfasst. Geometrische Objekte werden als Ganzes erfasst, jedoch noch nicht in ihren Bestandteilen und Eigenschaften erkannt. Geometrisches Denken ist auf dieser Stufe weitgehend materialgebunden und Vorstellungsbilder müssen noch aufgebaut werden. Zuordnung und Identifikation erfolgt deshalb vor allem aufgrund von Ähnlichkeiten zu bereits bekannten Objekten nach dem Prinzip „Sieht so aus wie...". Als Beispiel nennt Maier den folgenden Satz: „Ein Rechteck sieht aus wie eine Türe" (Maier, 1999, S. 99).

1. Niveaustufe: analysierend-beschreibendes Denken

Durch Handlungserfahrungen wie Sortieren und genaues Untersuchen beginnt die Analyse der geometrischen Objekte auf ihre Eigenschaften hin. Das Identifizieren der Eigenschaften ermöglicht Beschreibung, Unterscheidung und feinere Klassifizierungen von Objekten, ohne jedoch bisher Beziehungen oder Hierarchien zu ergründen. Als Beispiel nennt Maier den folgenden Satz: Bei einem Rechteck „sind vier rechte Winkel vorhanden, gegenüberliegende Seiten sind parallel…" (Maier, 1999, S. 101).

2. Niveaustufe: abstrahierend-relationales Denken

Beziehungen zwischen den Eigenschaften einer Figur und den Eigenschaften verwandter Figuren werden festgestellt und sowohl Klassifikationen als auch Klasseninklusionen verstanden. Es wird beispielsweise erkannt, dass jedes Quadrat auch ein Rechteck ist, weil es alle Eigenschaften des Rechtecks hat. Durch die Kommunikation dieser Erkenntnisse gewinnen geometrische Definitionen an Bedeutung.

> Argumente können abgeleitet und erste logische Schlüsse gezogen werden. Diese Stufe wird auch bezeichnet als „erstes Ableiten und Schließen" oder „informal deduction". Mit dieser Stufe ist der Übergang vom Grundschulunterricht zur Sekundarstufe erreicht. (Franke, 2007, S. 117)

Inhaltlich wird das Vergleichen von Vierecken und das Erarbeiten des ‚Hauses der Vierecke' von Franke (2007) als ein typisches Beispiel für diese Stufe genannt, in der die Klassifikation der Vierecke nach ihren Eigenschaften aufgrund von logischen Schlüssen vollzogen wird. Auch Schipper ordnet das 'Haus der Vierecke' in die zweite Niveaustufe ein: „In Erweiterung solcher Überlegungen gelingt dann schließlich auch eine systematische Einteilung aller Vierecke" (Schipper, 2013, S. 258).

3. Niveaustufe: geometrisch-schlussfolgerndes Denken

Logische Schlussfolgerungen werden als Weg zum Entdecken geometrischer Theorien verstanden und eingesetzt sowie die Rolle und Bedeutung von geometrischen Axiomen, Definitionen, Sätzen und Beweisen erkannt. Als Beispiel führt Maier an: „Es ist der Beweis zu führen, dass ein Parallelogramm mit einem rechten Winkel ein Rechteck darstellt" (Maier, 1999, S. 102).

4. Niveaustufe: strenge abstrakte Geometrie

Geometrische Sätze werden zu Axiomensystemen zusammengefasst, die ihrerseits miteinander verglichen werden. Beispielsweise werden unterschiedliche Theorien verglichen wie die euklidische und die hyperbolische Geometrie (Maier, 1999). Dieses Niveau wird jedoch selbst in der gymnasialen Oberstufe nicht von allen Lernenden erreicht.

Durch empirische Untersuchungen wurde gezeigt, dass mit dem van-Hiele-Modell das geometrische Denken von Kindern gut beschrieben werden kann. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass das Denken kontext- und aufgabenabhängig ist. Franke hält fest, dass Kinder gleichen Alters auf unterschiedlichen Stufen arbeiten können und teilweise sogar zu beobachten sei, „dass ein und derselbe Schüler bei unterschiedlichen Aufgaben auf verschiedenen Stufen arbeitet" (Franke, 2007, S. 120). Weiterhin zeigt sich in der Darstellung der Stufen, dass für den Grundschulunterricht und damit auch für die Untersuchungen der

vorliegenden Arbeit allein die drei ersten Ebenen von Bedeutung sind. Diese drei Stufen sowie das Studenmodell von Vollrath (1984) sollen daher in Kapitel 8 für die Detailanalyse der unterrichtlichen Interaktionen herangezogen werden.

5.2.6 Methodisch-didaktische Schlussfolgerungen

Für den Einsatz der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* im Mathematikunterricht lassen sich verschiedene methodisch-didaktische Schlussfolgerungen ziehen, die im Folgenden dargestellt werden sollen.

Generelle Eignung des Beitrages

Wie schon erwähnt ist die Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* für Kinder im Alter von 8-13 Jahren konzipiert (Kap. 1.3). Dies entspräche einer Eignung für die Klassenstufe 2 bis 6. Für eine allgemeine Behandlung der ebenen Figuren bzw. Vierecke gemäß der Bildungsstandards (Kultusministerkonferenz, 2022b) wäre dies für die Zielgruppe passend. Durch die Schwerpunktsetzung auf die Begriffshierarchie (das 'Haus der Vierecke') wird jedoch, wie eben beschrieben, erstes Ableiten und logisches Schließen gefordert (zweite Niveaustufe), welches erst im Übergang vom Grundschulunterricht zur Sekundarstufe stattfindet (Franke, 2007). Somit kann die Sendung als besonders passend für die Klassenstufe 4 bis 6 bewertet werden. Aus diesem Grund wurde die Untersuchung in Klassenstufe 4 und 6 durchgeführt und nicht (wie in der Einheit zur Sendung *Wann ist ein Spiel fair?*) auch in Klassenstufe 2.

Sachlich und inhaltlich leisten die Einstiegssequenz sowie der Abschluss des Radiobeitrages vor allem einen Beitrag zur Orientierung im Alltag. Durch die Beispiele aus der Lebenswelt gewinnt die Thematik für die Rezipient:innen an Bedeutung. Außerdem werden die Kenntnis und begründete Unterscheidung sowie Nutzung dieser Beispiele als sinnvoll für ein autonomes Leben angesehen (Schipper, 2017). Es sind aufseiten der Schüler:innen einige fachliche und fachsprachliche Vorkenntnisse nötig. Beispielsweise wird das Begriffswissen zum rechten Winkel vorausgesetzt und müsste ggf. geklärt werden. Der Radiobeitrag kann das nicht als ‚selbsterklärend' leisten, dafür aber als Vertiefung oder Weiterführung in die Thematik der Vierecke genutzt werden kann. Mit dieser Zielsetzung kann er dann zum Aufbau von differenzierterem geometrischem Wissen und Verständnis beitragen. Es werden einige fundamentale Ideen der Elementargeometrie angesprochen (Krauthausen, 2018; angelehnt an Wittmann, 1999; ausführlich in Kap. 5.2.5):

- *Formen in der Umwelt:* Reale Gegenstände werden durch geometrische Begriffe beschrieben (z. T. angenähert oder idealisiert wie bspw. durch die Erdkugel oder die Tischplatte (MV, Z. 19, 37).
- *Geometrische Formen und ihre Konstruktion:* hauptsächlich ebene Figuren bzw. Vierecke; zu Beginn des Beitrages jedoch auch geometrische Körper.
- *Das Operieren mit Formen:* vor allem das Bewegen (Verschieben, Drehen, Spiegeln) sowie das Verändern (Verändern von Größe, Zerlegen) und auch das Überlagern (beim Faltauftrag überlagern sich zwei deckungsgleiche Rechtecke). Durch dieses Operieren können vielfältige Beziehungen entstehen und erkannt werden.

Damit deckt der Beitrag einige wichtige inhaltliche Teilbereiche der Elementargeometrie ab und kann für die Vermittlung dieser fundamentalen Ideen als geeignet gesehen werden.

Innerhalb der als passend herausgestellten Zielgruppe (Klassenstufe 4 bis 6) muss sicherlich unterschiedlich differenziert und das Material oder die Lernumgebung an das Niveau der Lerngruppe angepasst werden (Ordolff & Wachtel, 2014). Die Kombination aus authentischen Erklärungen von Kinderstimmen sowie komplexeren Erläuterungen von Experten bietet Differenzierungsmöglichkeiten durch eine individuell-mögliche Auswahl von Sequenzen, die für die Lerngruppe als geeignet befundenen wird. Die Erläuterungen der Experten – so kindgerecht sie auch gehalten sind – enthalten wie in Kapitel 5.2.3 beschrieben teilweise komplexere bildungssprachliche Elemente, die behutsam aufgegriffen werden müssen, damit sie nicht zum Lernhindernis (Meyer & Tiedemann, 2017) werden, sondern als bildungssprachliches Vorbild dienen und aufgenommen werden können.

Da auch dieser Beitrag mit einer Länge von 12 Minuten nicht der Aufmerksamkeitsspanne von Grundschüler:innen entspricht und sich wie oben beschrieben an einigen Stellen eine hohe Informationsdichte feststellen lässt, muss er im Sinne des Segmenting Principle (Mayer & Pilegard, 2014) von der Lehrkraft in einzelne kürzere Sinneinheiten sequenziert und diese entsprechend didaktisch im Unterricht eingesetzt werden. Auf diese Weise kann der Einsatz des auditiven Mediums sowohl einen Beitrag zum Hörverstehen leisten als auch zum Aufbau von geometrischem Wissen und Verständnis.

Struktur der Inhalte und didaktische Reduktion

Im Gegensatz zum Beitrag *Wann ist ein Spiel fair?* werden die mathematischen Inhalte in diesem Beitrag nicht in eine Rahmengeschichte eingebettet. Die Struktur ist weniger klar bzw. logisch-linear aufgebaut. Trotzdem ist ein Aufbau ähnlich den curricularen Vorgaben

erkennbar: Zu Beginn des Beitrags zählen kindliche Stimmen Beispiele geometrischer Formen und Figuren aus dem Alltag auf, durch deren Vergleich der Unterschied zwischen geometrischen Körpern und ebenen Figuren in ihrer Dimensionalität (zwei- bzw. dreidimensionale Figuren) aufgezeigt wird. Oft wird beobachtet, dass es keine scharfe Trennung der Begriffsgruppen gibt, sondern Kinder räumliche Objekte und ebene Objekte nicht bewusst unterscheiden und bspw. Begriffe wie ‚Quadrat' oder ‚Rechteck' für ‚Würfel' oder ‚Quader' verwenden. Dies könnte am ständigen Wechsel „vom Objekt aus der Umwelt zum Bild, also zur zweidimensionalen Darstellung des Objekts oder ausgewählter Ansichten bzw. deren Idealisierung" liegen (Franke, 2007, S. 181). Im Sinne des o.g. Begriffserwerbs durch Abstrahieren (Weigand, 2015) und der in der Literatur vorgesehenen Reihenfolge der Behandlung (Franke, 2007, S. 181) werden im Radiobeitrag ausgehend von räumlichen Erfahrungen und dem Wissen über räumliche Objekte die Phänomene der ebenen Geometrie erarbeitet. Auf diese Weise kann eine konstruktive Abgrenzung zwischen ebenen und räumlichen Figuren vorgenommen werden.

Nach dieser einleitenden Sequenz werden im schwerpunktgebenden Hauptteil die verschiedenen Vierecke (Trapez, Raute, Drache, Parallelogramm und Rechteck) und ihre Eigenschaften beschrieben. Sonderformen wie der schiefe Drachen und das schiefe Trapez werden in der Grundschule noch nicht behandelt (Schipper, 2017) und werden deshalb im Beitrag berechtigterweise nicht berücksichtigt. Es wird also nur eine – die symmetrische – Form der beiden Vierecke thematisiert. Dadurch kann das präzisierende Adjektiv ‚symmetrisch' vor den Begriffen ‚Trapez' und ‚Drache' weggelassen werden. Im Hinblick auf die Eigenschaften wird im Radiobeitrag von ‚rechten Winkeln' gesprochen, ohne jedoch das Gradmaß eines rechten Winkels anzusprechen.[23] Um in der Klassenstufe 4 den Themenkomplex der Gradmaße zur Bestimmung der Winkel zu umgehen, sollen die Lernenden in der für sie angepassten Lernumgebung ihre Vierecke mit Hilfe der rechtwinkligen Ecke ihrer Geodreiecken überprüfen. Zwecks didaktischer Reduktion wird auch bei den Begriffen ‚konvex' und ‚konkav' auf eine Definition durch die Angabe und das Bemessen der Gradmaße verzichtet. Im Radiobeitrag wird durch die Vorstellungshandlung (Weber, 2007) des „Reinboxens" (MV, Z. 96) das Vorstellungsbild eines konkaven Vierecks mit einer „eingedrückten Ecke" (MV, Z. 95f.) angeregt und auf den Bildkarten (gemäß der Abbildung 19 in Kap. 3.2.4) visualisiert.

[23] Die Einführung der rechten Winkel wird von den meisten Mathematik-Schulbüchern für die Klassenstufe 4 mithilfe des ‚Faltwinkels' vorgenommen (siehe z.B. Buschmeier et al., 2013, S.50), um die für die Sekundarstufe 1 vorgesehene Einführung der Gradmaße nicht vorwegzunehmen. Da das Kinderfunkkolleg die Zielgruppe der 8-13-jährigen Schüler:innen bedient, muss diese Thematik je nach Lerngruppe unterschiedlich aufgefangen oder vertieft werden.

Aufbauend auf den Kenntnissen über die Vierecke und ihre Eigenschaften werden dann die Zusammenhänge zwischen ebendiesen sowie ihre Anordnung in der Begriffshierarchie dargestellt. Das ‘Haus der Vierecke’ – wie es in der Sendung dargestellt ist – verortet das Quadrat als speziellstes Viereck im obersten Geschoss. Nach unten hin werden die Vierecke immer allgemeiner, wobei das allgemeine Viereck im Sinne der didaktischen Reduktion ganz ausgelassen wird.

Zusätzliches Material

Da in der Sendung die Merkmale und Eigenschaften einiger Vierecke nicht beschrieben werden, muss für die Lernumgebung als erste Rubrik zusätzlichen Materials auf weitere Originaltöne des Kinderfunkkollegs zurückgegriffen werden, um die Vierecke Drachen, Trapez und Parallelogramm ebenfalls untersuchen, definieren und in das ‘Haus der Vierecke’ einordnen zu können.[24]

Da es für das Abspielen der Sendung recht wenig technisches Equipment braucht, ist die einfache Handhabung für Lehrkräfte gesichert. Nur für die eigenständige und dezentralisierte Arbeit mit den auditiven Medien in Partner- oder Gruppenarbeitsphasen werden mehrere iPads oder einfache Diktiergeräte benötigt. Im Umgang mit ihnen kann auch die Medienkompetenz der Lernenden gefördert werden (Analyse 07). Um das selektive Zuhören und Entnehmen relevanter Informationen aus den auditiven Medien zu unterstützen sowie eine Möglichkeit zur Ergebnissicherung zu bieten, sollten auch zur Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* Höraufträge nach den in Kapitel 3.4.1 vorgestellten Kriterien entwickelt werden. In der untersuchten Lernumgebung wurde dazu ein Forscherheft entwickelt, in welchem die Höraufträge und weiterführenden Aufgaben zur Untersuchung aller Vierecke zusammengefasst sind. Gleichzeitig sind im Forscherheft alle nötigen Materialien (z.B. die Vierecke, die ausgeschnitten und durch Falten, Messen etc. untersucht werden sollen) enthalten sowie die Möglichkeit zum Festhalten von Notizen bei der Erstrezeption der Beiträge und zur Ergebnissicherung. Durch die Forscheraufträge kann eine Auseinandersetzung mit den Vierecken von verschiedenen Zugängen her und mit verschiedenen Materialien erfolgen. Auf diese Weise können die Eigenschaften der Figuren „in unterschiedlichen Beziehungen bewusst und damit beweglich und vernetzt mit anderen Begriffen gespeichert werden“ (Franke, 2007, S. 215). Dies ermöglicht ein umfassendes und flexibles Begriffsverständnis. Als Hilfe für den Aufbau des Begriffsnetzes betont Vollrath (1984) insbesondere den Aufbau einer gemeinsamen

[24] https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wer-wohnt-im-haus-der-vierecke/o-tone-anhoren.

graphischen Darstellung der Begriffshierarchie (also des Hauses), an der die Schüler:innen den Stand der Untersuchungen zu jedem Zeitpunkt erkennen können. Auch dies wird in der Lernumgebung berücksichtigt.

Möglichkeiten zur fachbezogene Sprachförderung

Wie schon in der mediendidaktischen und der sprachlichen Analyse detailliert dargestellt, enthält die Sendung einige hilfreiche Elemente zur Unterstützung der auditiven Informationsverarbeitung. Da die Sprache der Experten durchaus linguistisch anspruchsvoll zu bewerten ist, werden diese Passagen durch andere Formen der Unterstützung auf das Hören abgestimmt. So werden beispielsweise wichtige Begriffe durch Soundeffekte hervorgehoben, sodass die Rezipient:innen sie leichter herausfiltern können. Auf diese Weise können im Sinne eines dualen Lernpfades (Pöhler, 2018) neben fachlichen auch sprachliche Lernpfade angeregt und Ziele verfolgt werden. Die durch den Radiobeitrag eingeführten Fachbegriffe können in der Lernumgebung vertieft und gefestigt werden. Dazu dient z.B. die gemeinsame Wortspeicherarbeit. Hier können in der Festigungsphase neue sowie wichtige Begriffe und deren Bedeutungen festgehalten und durch geeignete Bilder und Darstellungen erweitert werden (Voigt, 2019). In der sprachlichen Analyse (Kap. 5.2.3) wurde eine Reihe von Begrifflichkeiten aufgeführt, die aus dem Beitrag für die Wortspeicherarbeit herausgefiltert werden kann, aber selbstverständlich an den Lernstand und das Vorwissen der Lerngruppe angepasst und strukturiert werden muss. In der untersuchten Lernumgebung wurden demzufolge für die Wortspeicherarbeit Bild- und Wortkarten zu folgenden Begriffen vorbereitet: *ebene Figuren, Körper, konvex, konkav, rechter Winkel, gleichlange Seiten, parallele Seiten, deckungsgleich, Symmetrieachse* und *Drehsymmetrie*. Diese synonyme Verwendung wichtiger Begriffe muss im Unterrichtsgespräch aufgefangen und die Entscheidung für die auf den Wortkarten oder im Wortspeicher verwendeten Begriffe transparent begründet werden. Für die Arbeit im Forscherheft, in der die sprachlichen Mittel direkt angewendet werden sollen, kann der Wortspeicher dann als Scaffolding (Gibbons, 2002) dienen.

Als weitere Hilfe, die das Begriffsverständnis unterstützt, wirkt ein „anfängliches Reduzieren der Komplexität der Merkmale/Eigenschaften von Objekten, die zur Begriffsbildung untersucht werden sollen“ (Franke, 2007, S. 112). Solch eine Reduktion wird sowohl im Beitrag als auch in der Einheit durch die didaktische Reduktion auf eher typische Beispiele eines Begriffes (z.B. Ausklammern von schiefem Trapez und schiefem Drachen)

verfolgt. Auch das „Hervorheben relevanter Merkmale, z.B. durch Färben und zusätzlich durch sprachliches Benennen“ (Franke, 2007, S. 113) kann eine Hilfe im Prozess des Begriffslernens sein. In der Untersuchung der Vierecke sollen alle wichtigen Eigenschaftsbegriffe markiert und benannt werden. Neben dem Benennen von Eigenschaften können die Lernenden auch auf weiteren Wegen angeregt werden, ihre Erkenntnisse zu verbalisieren (Franke, 2007): durch Begründen der Zugehörigkeit, durch Beschreiben mit eigenen Worten oder durch Übermitteln an Mitschüler:innen. Diese Verbalisierungen finden vor allem in der Gruppenarbeit sowie in der Präsentation der Ergebnisse, dem Vergleich der Vierecke und dem gemeinsamen Einordnen in die Begriffshierarchie statt.

Fehlen Kindern zum Beschreiben und Erklären die treffenden Worte, versuchen sie oft, sich über Bilder auszudrücken. Dies hilft ihnen zwar kurzfristig, sich auf dieser Basis zu verständigen, weckt aber auch das Interesse an den richtigen Bezeichnungen, mithilfe derer sie sich schneller und unmissverständlicher ausdrücken wollen (Franke, 2007). In allen Phasen des sprachsensiblen Unterrichts ist es deshalb annehmbar, die Lernenden ihre eigene Sprache verwenden zu lassen, „die zunächst noch ein Konglomerat aus Alltagsbegriffen, Eigenschöpfungen und Fachbegriffen ist“ (Franke, 2007, S. 22). Auf diese Weise können die Schüler:innen voneinander lernen und ohne sprachliche Hemmungen oder Hürden nicht nur ihre Ergebnisse vorstellen, sondern auch über Wege und Begründungen reflektieren und so ihr Begriffsverständnis aufbauen. Außerdem wird Anlass zur Ausdifferenzierung und Verschärfung der Begrifflichkeiten geboten. Denn natürlich muss weiterhin sichergegangen werden, dass die Begriffe mit den richtigen Inhalten verbunden werden. Auch die Lehrkraft sollte deshalb ihre sprachliche Vorbildfunktion wahrnehmen und darauf achten, immer wieder bildungs- und fachsprachliche Ausdrücke zu verwenden.

5.2.7 Darstellung der Lernumgebung

Im Folgenden sollen die angestrebten Lernziele sowie der Aufbau der untersuchten Einheit aus fachdidaktischer Perspektive beschrieben sowie methodische Überlegungen begründet werden.

Angestrebte Kompetenzen

Schipper (2013, S. 258f.) formuliert in Bezug auf Körper und ebenen Figuren drei Hauptziele, die richtungsgebend für die unterrichtliche Praxis sind und sich so auch in der Struktur der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* wiederfinden:

1. Kennenlernen von Körpern und ebenen Figuren als Ganzheiten inkl. ihrer Fachbegriffe.
2. Erkennen ihrer Eigenschaften.
3. Anstellen von Vergleichen zwischen Figuren und erkennen von Inklusionsbeziehungen.

Ausgehend von den in der Literatur und den Bildungsstandards beschriebenen Kompetenzen (Kultusministerkonferenz, 2022b; Kap. 5.2.5) sowie im Sinne des dualen Lernpfades (Pöhler, 2018) werden in der untersuchten Lernumgebung sowohl fachliche als auch sprachliche Lernziele verfolgt und dabei miteinander verknüpft:

- *Mathematischer Lernpfad:* Auf dem mathematischen bzw. konzeptuellen Lernpfad geht es um die Vierecke und ihre Eigenschaften, das Operieren mit Vierecken, räumliches Vorstellungsvermögen etc.
- *Sprachlicher Lernpfad:* Auf dem sprachlichen bzw. lexikalischen Lernpfad werden Ziele geometrischer Begriffsbildung verfolgt.

Die Schüler:innen sollen in der Lage sein, die o.g. Vierecke und ihre Eigenschaften (Symmetrien, Seiten- und Winkelbeziehung) zu benennen und in der Umwelt zu erkennen. Außerdem sollen sie das Zeichnen von geometrischen Figuren mit und ohne Hilfsmittel beherrschen. Weiterhin sollen Zusammenhänge bzw. Verwandtschaften zwischen den verschiedenen Vierecken erkannt und durch das Anstellen von Vergleichen begründet erklärt werden können. Schipper (2013) betont, dass diese Kenntnisse nicht in einem deduktiv-axiomatisch aufgebauten Unterricht erworben werden, in dem eine Sache stets zuerst definiert wird, sondern durch handelndes und kommunikatives Lernen: „Über dieses tatsächliche Begreifen und über die Versprachlichung der Aktivitäten und Entdeckungen werden die wichtigen Begriffe gelernt und Eigenschaften und Beziehungen verstanden“ (Schipper, 2013, S. 259).

Außerdem findet während der gesamten Lernumgebung auch die Förderung unterschiedlicher überfachlicher Kompetenzen statt (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 8-10): Während der Erarbeitung der Steckbriefe entwickeln die Lernenden ihre Medienkompetenz weiter, indem sie selbständig mit den Audios auf dem iPad umgehen, den auditiven Medien relevante Informationen entnehmen sowie ihre Ergebnisse strukturiert auf einem Plakat festhalten. Außerdem wird die Sozialkompetenz gefördert, indem den Lernenden in der Gruppenarbeitsphase und den Forscheraufträgen Kooperation und Teamfähigkeit abverlangt wird. Auch die Problemlösekompetenz wird in dieser Phase gestärkt:

> Die Lernenden bearbeiten Fragestellungen und kommen dabei zu sachgerechten Lösungen. Sie setzen sich selbst Ziele und reflektieren über Arbeitsprozess und Arbeitsergebnis. Sie planen ihre Arbeit und setzen sie schrittweise um. Dazu nutzen sie verfügbare Informationen. (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 10)

Einen großen Anteil hat auch die Sprachkompetenz: Hier wird im Rahmen der Kommunikationskompetenz auch die Zuhörkompetenz gefördert, die analog zur Lesekompetenz die Informationsverarbeitung in den Blick nimmt (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Verlaufsplan und methodische Überlegungen

Die untersuchte Unterrichtseinheit stellt eine 4-stündige Lernumgebung (Tab. 5) zum Thema ‚Vierecke' dar, in deren Zentrum der Radiobeitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* steht, der wie oben ausführlich beschrieben mathematische bzw. geometrische Inhalte und Begriffe vermittelt. Die Einheit orientiert sich am Aufbau der Sendung, nutzt diese jedoch nicht komplett, sondern verwendet einzelne, gezielt ausgewählte Sequenzen im Sinne des Segmenting Principle (Mayer & Pilegard, 2014), die den Lernenden an verschiedenen Stellen der Einheit dargeboten werden. Teilweise enthalten die Sequenzen praktische Elemente, die von einer Lerngruppe unter Anleitung ohne Probleme durchgeführt werden können (bspw. das Untersuchen von Symmetrien durch Falten (MV, Z. 119-130)). An diesen Stellen und auch in der weiterführenden Partnerarbeit sollen durch möglichst viele praktische Erfahrungen die Vierecke und ihre Eigenschaften erfasst werden.

Zu Beginn wird gemeinsam im Sitzkreis die erste Sequenz des Beitrages gehört, in welcher der Unterschied zwischen geometrischen Körpern und ebenen Figuren thematisiert wird. Dabei wird auch auf die Ebene Figur als Begrenzungsfläche eines Körpers eingegangen. Bei der Erhebung in der vierten Klasse wurden wiederholend dazu merkmalsarme Objekte dargeboten, die von den Lernenden kategoriensuchend in Gruppen sortiert werden sollten. Dies kann ihnen helfen, geometrische Eigenschaften zu entdecken, da sie selbst entscheiden und begründen, nach welchen Kriterien sie sortieren wollen und warum welche Objekte zusammengehören (Franke, 2007). Nach dem Untersuchen merkmalsarmer Objekte sollten in der vierten Klasse auch Gebrauchsgegenstände sortiert werden (wie Spielzeug, Unterrichtsmaterialien oder Haushaltsgegenstände) und somit Körperformen in der Umwelt gefunden werden (Franke, 2007, S. 147). Auch hierzu gibt der Radiobeitrag Anlass und kann zum Nachahmen anregen.

Einstieg	- Rezeption des ersten Teils der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* - Abgrenzung ‚Körper' und ‚ebene Figuren' - Einstieg in die Arbeit mit den Vierecken - Beginn der gemeinsamen Erarbeitung des Wortspeichers mithilfe von Begriffs- und Bildkarten (Klärung der Begriffe ‚konvex' & ‚konkav'*)*
Sprachliche und mathematische Erarbeitung	- Hinführung zur Begriffshierarchie mithilfe der Audio-Sequenzen zum 'Haus der Vierecke' und zum Quadrat - Anstellen von Vermutungen über die Bedeutung und Funktion des Hauses - Untersuchung des Quadrates auf seine Eigenschaften durch Messen und Vergleichen der Seiten, Falten, Drehen etc. Dabei stete Weiterentwicklung des Wortspeichers - Gemeinsames Erstellen des Steckbriefes zum Quadrat
Vertiefung & Transfer	- Untersuchen weiterer Vierecke auf ihre Eigenschaften in Partnerarbeit mithilfe des Forscherheftes und der jeweiligen Audiobeiträge zu den verschiedenen Vierecken - Erstellen von je einem Steckbrief-Plakat pro Viereck in Expert:innengruppen
Sicherung	- Präsentation der Untersuchungsergebnisse - Rezeption des letzten Teils der Sendung hinführend zur Abschlussdiskussion: - Begründete Einordnung der Vierecke/ Steckbriefe in das Haus; Klärung der Verwandtschaften - Förderung der prozessbezogenen Kompetenz ‚mathematisches Argumentieren' - Ergebnissicherung im Forscherheft

Tab. 5: Darstellung der Lernumgebung zum ‚Haus der Vierecke'

Auf dieser Grundlage werden dann (in beiden Klassenstufen) die in der Mitte ungeordnet liegenden Begriffs- und Bildkarten von den Schüler:innenn sortiert und erklärt. Nach dem Abspielen der nächsten beiden Sequenzen zu den Eigenschaften des Quadrates und seinem Platz im 'Haus der Vierecke' werden diese Eigenschaften anhand des vorliegenden Quadrates wiederholend besprochen. Dazu werden verschiedene Möglichkeiten zur Untersuchung der jeweiligen Eigenschaften vorgestellt und gemeinsam durchgeführt. Diese Vorgehensweise baut auf Kenntnissen auf, welche die Lernenden bereits in den vorangegangenen Schuljahren gesammelt haben. Denn erste Eigenschaften geometrischer Figuren sollen nach Franke (2007) zunächst dadurch erkannt werden, dass die Figuren mit Material dargestellt oder Objekte hergestellt werden, die diese Figuren repräsentieren. So können erste Eigenschaften der Figuren erkannt werden. „Weitere Eigenschaften entdecken die Kinder beim *zielgerichteten Untersuchen* der Figuren, beim Ordnen und Sortieren, beim Variieren und Verändern" (Franke,

2007, S. 200). Dieses *zielgerichtete Untersuchen* soll bereits erworbene Kenntnisse vertiefen und erweitern.

Eine solche Form der Untersuchung wird bspw. durch den o.g. Ausschnitt des Beitrages angeleitet (MV, Z. 119-130), der sich als kopfgeometrische Aufgabe oder mathematische Vorstellungsübung (Weber, 2007) eignet: Es soll durch Falten ein Quadrat halbiert und das entstandene Produkt erneut halbiert werden, sodass wieder ein Quadrat entsteht. Durch Vorstellungshandlungen im Sinne des gedanklichen Bearbeitens oder Bewegens (Weber, 2007: Kap. 2.2.2) sollen die Lernenden herausfinden, was geschieht, wenn man nun ein Rechteck auf die gleiche Weise faltet, wie man ein Rechteck durch Falten noch herstellen könnte und ob man aus einem Rechteck durch Halbieren ein Quadrat falten kann. Wie von Senftleben (1996) vorgeschlagen, wird an die mentalen Vorstellungshandlungen eine Kontrollphase angeknüpft, in der die Lernenden selbstständig durch Handeln am Material – hier durch Falten vorgefertigter Vierecke aus Papier – überprüfen können, ob ihr kopfgeometrisch bestimmtes Resultat korrekt ist. Durch das mentale und reale Falten sowie die dabei entstandenen Faltlinien, kann das Quadrat auf Symmetrien untersucht werden (Franke, 2007). Gleichlange Seiten werden durch Ausmessen identifiziert und Schippers‘ Empfehlung folgend mit der gleichen Farbe markiert (Schipper, 2017). Die Rechtwinkligkeit und Parallelität wird mit dem Geodreieck überprüft – beides grundlegende geometrische Techniken, deren Einsatz im Unterricht zu üben ist (Franke, 2007). Die Drehsymmetrie kann durch ein Drehmodell festgestellt werden (Abb. 24). Bei dem Drehmodell handelt es sich um Viereck-Schablonen, die durch eine Musterklammer drehbar auf einem Stück Pappe befestigt werden, auf dem vorher der Umriss des Vierecks in der ‚Startposition‘ nachgezogen wurde.

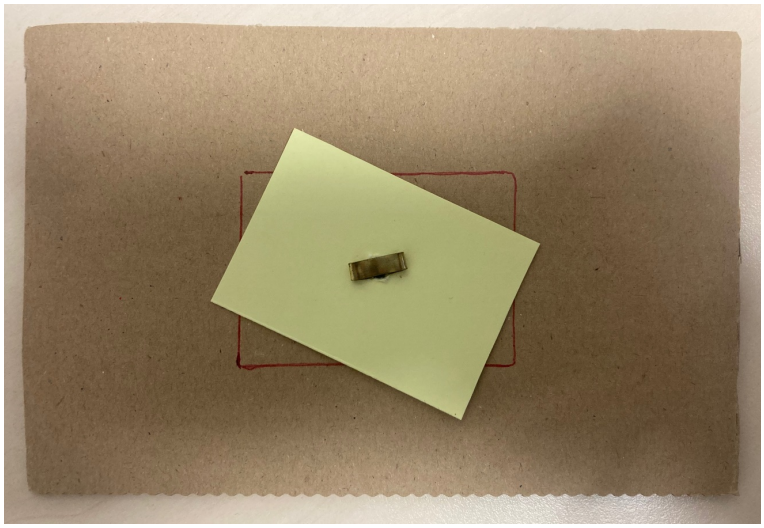


Abbildung 24: Drehmodell zur Untersuchung der Drehsymmetrie

Alle erarbeiteten Ergebnisse werden in einem ersten gemeinsamen Steckbrief-Plakat festgehalten und dieses – wie im Radiobeitrag vorgestellt – ins oberste „Stockwerk“ des Hauses eingeordnet (MV, Z. 110-115). Dafür ist ein großes Plakat in Form eines Hauses vorgesehen, so dass den Lernenden die durch die gemeinsamen Untersuchungen entstehende Begriffshierarchie bzw. das Begriffsnetz im Sinne Vollraths (1984) zu jeder Zeit verdeutlicht wird (Abb. 25). Außerdem ist damit das Ziel der Einheit – die Einordnung der Vierecke in das Haus – für die Lernenden visualisiert und jederzeit abrufbar.



Abbildung 25: Das ‘Haus der Vierecke’ nach der exemplarischen Untersuchung des Quadrates

Analog zu der Erarbeitung der Eigenschaften des Quadrates sollen nachfolgend in Partnerarbeit weitere Vierecke untersucht werden. Dazu bekommen die Gruppen ein iPad, auf welchem sie zu jedem Viereck einen passenden informativen Audiobeitrag des Kinderfunkkollegs finden

und selbstständig nutzen können. In ihrem Forscherheft können aus dem Beitrag herausgefilterte Informationen sowie untersuchte Eigenschaften festgehalten werden. Diese Dokumentation der Ergebnisse dient als Hilfestellung für die Erstellung der Steckbrief-Plakate. Nach dieser Partnerarbeit werden die Steckbriefe im Plenum vorgestellt und gemeinsam in die passenden ‚Zimmer' im 'Haus der Vierecke' eingeordnet. Auch hier dient ein Audio-Ausschnitt, in dem von „Verwandtschaften" unter den Vierecken die Rede ist, als Impuls (MV, Z. 105-109). Bei der gemeinsamen Klärung der Verwandtschaften bzw. Beziehungen muss auf die erarbeiteten Eigenschaften Bezug genommen werden. Auch für die Einordnung im Haus spielen sowohl die Eigenschaften als auch die Beziehungen der Vierecke eine Rolle. Die Lernenden können hier mathematisches Begründen anhand der neu gelernten Inhalte und Argumentationsstrukturen des Beitrages trainieren.

6. Methodologie und Methodik

In den folgenden Ausführungen werden zum einen methodologische Grundlagen und zum anderen die konkrete Methodik der Studie beschrieben. Zur Darlegung der Methodologie wird die zunehmend präzise Einordnung der empirischen Studie in die qualitative Sozialforschung (Kap. 6.1.1) und die qualitative mathematikdidaktische Unterrichtsforschung (Kap. 6.1.2) vorgenommen. Aufbauend auf den methodologischen Überlegungen beginnt der methodische Teil mit der Klärung und Begründung der Methoden-Kombination zur Datenanalyse und weiteren methodischen Vorüberlegungen (Kap. 6.2). Anschließend wird geschildert, wie als Ergebnis des zweistufigen Auswertungsprozesses durch eine deskriptive Bestandsaufnahme induktiv Kategorien entwickelt wurden, mithilfe derer dann die kategoriengeleitete Auswahl an Szenen vorbereitet und die detaillierte, rekonstruktiv-interpretativen Analyse der Daten realisiert werden konnte (Kap. 6.3). Abschließend wird die Gültigkeit der Untersuchung durch die Anwendung von Gütekriterien festgehalten (6.4).

6.1 Methodologische Überlegungen

Im Allgemeinen ist die vorliegende Untersuchung der qualitativen Schul- und Unterrichtforschung zuzuordnen, einem Teilgebiet der qualitativen Sozialforschung. Sie folgt in ihrem zweistufigen Prozess sowohl der deskriptiven als auch der rekonstruktiv-interpretativen Methodologie. Es soll deshalb an dieser Stelle sowohl eine kurze Darstellung der qualitativen Sozialforschung als auch der qualitativen mathematikdidaktischen und der interpretativen Unterrichtsforschung erfolgen.

6.1.1 Qualitative Sozialforschung

Qualitative Forschung unterscheidet sich von quantitativer Forschung vor allem in den erkenntnistheoretischen Grundlagen. Während quantitative Forschung auf die Überprüfung von theoretischem Wissen zielt – also hypothesenprüfend arbeitet - zielen qualitative Forschungsverfahren auf die Exploration unbekannter Phänomene und der Generierung (neuen) theoretischen Wissens. Sie arbeiten also hypothesengenerierend oder theorieentwickelnd: „Ziel der Forschung ist dabei weniger, Bekanntes (etwa bereits vorab formulierte Theorien) zu überprüfen, als Neues zu entdecken und empirisch begründete Theorien zu entwickeln“ (Flick, 2016, S. 27). Erkenntnislogisch verläuft die Unterscheidung von verschiedenen Forschungszugängen also nicht per se entlang der Datensorte, sondern entlang der erkenntnistheoretischen Differenz: hypothesengenerierende oder hypothesenprüfende Forschung.

Im Hinblick auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand kann eine a-priori-Hypothesenbildung ausgeschlossen werden, da es bisher weder deskriptive noch interaktionistisch orientierte Wissensbestände zum Einsatz von auditiven Medien im Mathematikunterricht gibt.[25]

Es ist also eine Studie mit explorativem, hypothesengenerierendem Charakter notwendig, was das qualitative Vorgehen legitimiert. Erst durch die Auseinandersetzung mit den empirischen Daten können Hypothesen entwickelt werden (Flick, 2016). Dieser Aspekt ordnet die Arbeit in das Feld der Evaluationsforschung bzw. genauer in das Feld der empirisch-qualitativen Exploration ein (Bortz & Döring, 2006). Zur Evaluation einer bisher nicht erforschten Maßnahme – wie der in dieser Studie untersuchten Maßnahme des Einsatzes auditiver Medien im Mathematikunterricht – werden „qualitative Fallstudien empfohlen, an denen sich die Wirksamkeit einer Methode besser erkennen lasse“ (Bortz & Döring, 2006, S. 110). Aus diesem Grund soll in der vorliegenden Arbeit das neue Forschungsfeld zunächst explorativ durch die beispielhafte Analyse zweier Fälle erschlossen und beschrieben werden (deskriptive Bestandsaufnahme der qualitativen Inhaltsanalyse). Aufbauend auf dieser Bestandsaufnahme kann dann an einzelnen empirischen Daten konkreter nachgezeichnet werden, wie der Einsatz auditiver Medien realisiert ist und welchen Beitrag er innerhalb unterrichtlicher Interaktionsprozesse leistet (rekonstruktives Vorgehen der Interpretativen Unterrichtsforschung). Auf diese Weise können die limitierten Erkenntnismöglichkeiten einer deskriptiven Methode selbstkritisch im Blick behalten und auf eine produktive Arbeitsteilung mit einer rekonstruktiv ausgelegten Methode eingegangen werden (Koch, 2016). Als Ziel kann dann die empirisch begründete Formulierung von subjekt- und situationsspezifischen Aussagen erreicht werden (Flick, 2016). Evaluationsforschung stellt also keine eigenständige Disziplin dar, sondern eine systematische Anwendung empirischer Forschungsmethoden auf eine spezielle Gruppe von Fragestellungen zur Bewertung von Konzepten, Implementierung und Wirksamkeit von Interventionen oder Maßnahmen (Bortz & Döring, 2006). Empirisch-qualitative Exploration als eine Form von Evaluationsforschung trägt dabei „durch besondere Darstellung und Aufbereitung von qualitativen Daten dazu bei, bislang vernachlässigte Phänomene, Wirkungszusammenhänge, Verläufe etc. erkennbar zu machen“ (Bortz & Döring,

[25] Ausnahmen sind Arbeiten wie die von Leuders (2012), die die sequentielle Natur auditiver Lernmaterialien (z.B. Rhythmen) zur Entwicklung zahlbezogener Fähigkeiten im Arithmetikunterricht nutzte und untersuchte sowie Arbeiten von Rink und Walter (2020), in denen auditive Unterstützung zum Lösen von Sachaufgaben gegeben wird, um das sinnentnehmende Lesen zu entlasten. Zum Einsatz auditiver Medien als zentrales wissensvermittelndes Medium ist bislang keine empirischen Ergebnisse.

2006, S. 380). Dabei kann differenziert werden zwischen formativer (projektbegleitender) und summativer (effektbewertender) Evaluation (Bortz & Döring, 2006). „Explorationsbedarf besteht jedoch häufig dort, wo man sich im Detail für Veränderungs*prozesse* [Hervorhebung im Original] interessiert und nicht für den Output“ (Bortz & Döring, 2006, S. 109). Auch in der vorliegenden Arbeit soll nicht der Output getestet werden, sondern Hypothesen für ein wenig erforschtes Untersuchungsgebiet generiert werden, um handlungsrelevantes Wissen für die Praxis zu vermitteln (Bortz & Döring, 2006).

Hypothesengenerierende Forschung verfolgt dabei bestimmte Leitgedanken. Es gibt unterschiedliche Forschungsperspektiven im Gebiet qualitativer Forschung (Flick, 2016, S. 81-92), die bezogen auf diese Leitgedanken jedoch einige gemeinsame Aspekte aufweisen (Flick, 2016, S. 26-29 und 95-97), welche hier verkürzt aufgeführt werden sollen:

- Gegenstandsangemessenheit von Methoden und Theorien: Methoden und Theorien sind gegenstandsangemessen gewählt und so offen gestaltet, dass sie der Komplexität im untersuchten Gegenstand gerecht werden. Das heißt auch, dass dieser untersuchte Gegenstand Bezugspunkt für die Auswahl der Methoden ist – nicht umgekehrt.
- Perspektiven der Beteiligten und ihre Vielschichtigkeit: Diese Faktoren berücksichtigend werden Zusammenhänge im konkreten Kontext eines Falles beschrieben und aus ihm heraus erklärt.
- Reflexivität des Forschenden und der Forschung
- Verstehen als Erkenntnisprinzip: Das untersuchte Phänomen bzw. Geschehen wird von innen heraus verstanden.
- Fallrekonstruktion als Ausganspunkt: Es wird am Einzelfall angesetzt, bevor zu vergleichenden oder verallgemeinernden Aussagen übergegangen wird.
- Konstruktion von Wirklichkeit als Grundlage: Verständnis einer Wirklichkeit, die von unterschiedlichen Instanzen konstruiert wird.
- Text als empirisches Material: Interaktionsabläufe werden in der notwendigen Ausführlichkeit transkribiert und diese Texte zur Grundlage für Rekonstruktion und Interpretation genutzt.

Mit Bezug zur konkreten Fragestellung der vorliegenden Studie können auf diese theoretischen Überlegungen die gewählten methodischen Ansätze gestützt werden. Beispielsweise waren die Methoden nicht von Beginn an vorgegeben, sondern wurden im Zuge einer ersten Exploration gegenstandsangemessen gewählt und im Forschungsprozess nicht nur offen gestaltet, sondern auch angepasst. Auch wurden fachdidaktische, fachwissenschaftliche und linguistische

Perspektiven sowie die individuellen Perspektiven der beteiligten Schüler:innen beachtet. Ausgehend von zwei Fallrekonstruktionen (der Einsatz zwei verschiedener Radiosendungen in unterschiedlichen Lernumgebungen) können vergleichende oder verallgemeinernde Aussagen getätigt werden. Außerdem werden die erhobenen videographischen Daten ausführlich transkribiert, um an der Textform des empirischen Materials detaillierte Rekonstruktions- und Interpretationsprozesse vornehmen zu können.

Flick (2016) beschreibt den qualitativen Forschungsprozess als „*Weg von der Theorie zum Text* und als *Weg vom Text zur Theorie* [Hervorhhebung im Original] …, deren Schnittpunkt in einem spezifischen Forschungsdesign die Erhebung verbaler oder visueller Daten und ihre Interpretation ist“ (Flick, 2016, S. 13). Unter dem ‚Weg von der Theorie zum Text‘ versteht er die theoretische Position im Hintergrund der Untersuchung und der Methode – beispielsweise die Beschäftigung qualitativer Forschung mit der Konstruktion von Wirklichkeit, die wissenschaftliche Literatur zum Untersuchungsgegenstand sowie ein bestimmtes Verständnis des Forschungsprozesses, welches sich im Forschungsdesign und den Forschungsfragen widerspiegelt (Flick, 2016). Der ‚Weg vom Text zur Theorie‘ ist dann die Interpretation der Texte, die sich an der Codierung und Kategorisierung von Daten oder an der sequentiellen Struktur des Textes orientieren können. Deshalb werden auch in der vorliegenden Arbeit die Daten codiert und Kategorien entwickelt (Kap. 7.1.1), anhand derer dann die Interpretation und Theoriegenese eingeleitet werden kann (Kap. 7.1.2).

6.1.2 Qualitative mathematikdidaktische Unterrichtsforschung

Schreiber et al. (2015) kritisieren, dass innerhalb des Diskussionskreises der Qualitativen Sozialforschung die Unterrichtsforschung nur eine untergeordnete Rolle spielt und eine fachdidaktisch orientierte Forschung kaum zur Sprache kommt. Sie sehen in dieser Schieflage einen Hinweis darauf, dass die qualitativen Verfahren, die vorwiegend zur Untersuchung soziologischer Fragestellungen entwickelt worden sind, nicht (immer) einfach für mathematikdidaktische Forschungsfragen adaptiert werden können.

> Denn wesentliches Merkmal des in der Mathematikdidaktik gemeinhin untersuchten Gegenstandsbereiches ist das Unterrichten und Lernen von mathematischen (Unterrichts-) Inhalten. Qualitative Methoden in der Mathematikdidaktik sollten deshalb die spezifische Fokussierung auf mathematische Inhalte als konstitutives Element ihrer Analyseverfahren berücksichtigen. (Schreiber et al., 2015, S. 592)

Es müssen also Methoden und Auswertungsverfahren entwickelt werden, die auf die speziellen Untersuchungsgegenstände mathematikdidaktischer Forschung angepasst sind und die

besondere Form der Wissenskonstruktion in den Blick nehmen. Der Untersuchungsgegentand von Unterrichtsforschung ist klassischerweise ein Aspekt von Interaktionsprozessen, die – je nach Situation – von Schüler:innenn sowie ggf. von Lehrkräften und/oder Pädagog:innen zusammen erzeugt werden. Es ist also im Forschungsprozess eine interaktionistische Perspektive einzunehmen. Diese sieht mathematisches Wissen als ein Produkt aus – durch Interaktionen des alltäglichen Unterrichts – ständig neu erzeugten Deutungen und Deutungszuschreibungen zu dem behandelten mathematischen Stoff.

> Aus interaktionistischer Sicht ist es nicht der Stoff, der seine Bedeutungen gleichsam in sich trägt, sondern es sind die im Unterricht von den Beteiligten ausgehandelten Bedeutungen, die aus dem Stoff überhaupt erst einen solchen machen. Ziel von Unterricht ist, dass hierbei aus mathematischer Sicht akzeptable Bedeutungszuschreibungen hervorgebracht werden, die keine „Eintagsfliegen" sind und sich als situationsüberdauernd erweisen. (Schreiber et al., 2015, S. 593)

Welche Art von akzeptablen und tragfähigen Bedeutungszuschreibungen durch die Arbeit mit auditiven Medien im Mathematikunterricht ausgehandelt werden, wie sie entstehen und ob diese sich als situationsüberdauernd erweisen, soll in der vorliegenden Studie anhand zweier Beispiele untersucht werden. Auf diese Weise kann empirisch begründete mathematikdidaktische Forschung betrieben werden und dabei „Aspekte des durch die Mathematik mitbestimmten Gegenstands des Mathematikunterrichts durch eine genuin mathematikdidaktische Theorie" (Schreiber et al., 2015, S. 609) beschrieben werden.

Interpretative Unterrichtsforschung

In Abgrenzung von der Soziologie, die ihren Beitrag zur empirischen Schulforschung in makrosoziologischer Perspektive leistet, muss für die Analyse von Unterricht also eine Forschungsrichtung eingeschlagen werden, die an mikrosoziologischen Theorien mitwirken kann (Krummheuer & Naujok, 1999). In Reaktion auf die unbefriedigenden Ergebnisse der Reformen der 60er und 70er Jahre des letzten Jahrhunderts hat sich in der Mathematikdidaktik die Interpretative Unterrichtsforschung in der deutschen Mathematikdidaktik mit ebendiesem Ziel entwickelt. Sie ist auf Verstehen gerichtet, verfolgt auf Theorieentwicklung zielende Rekonstruktion alltäglicher Unterrichtsprozesse und distanziert sich dabei bewusst von implementativen Forschungsbemühungen (Krummheuer 2004, S. 112). Der Begriff ‚Interpretative Unterrichtsforschung' wurde im deutschsprachigen Raum maßgeblich von Terhart (1978) geprägt, der diesen in seiner Monographie „Interpretative Unterrichtsforschung:

kritische Rekonstruktion und Analyse konkurrierender Forschungsprogramme der Unterrichtswissenschaft“ auf Grundlage des Symbolischen Interaktionismus einführt. Er impliziert zum einen den Untersuchungsgegenstand und methodischen Ansatz und zum anderen einen theoretischen Standpunkt (Krummheuer & Naujok, 1999). Diese drei Bezugspunkte lassen sich in den drei Charakteristika wiederfinden, die nachfolgend – angelehnt an die Beschreibungen von Krummheuer und Naujok (1999, S. 15f.) dargestellt und mit dem Forschungsdesiderat der vorliegenden Studie verknüpft werden sollen:

a) *die Fokussierung auf alltägliche Unterrichtsprozesse:* Es wird der Frage nachgegangen, wie in alltäglichen Prozessen des Mathematikunterrichts Unterrichtsalltag und Wissen konstruiert wird. Der Einsatz von auditiven Medien wird in der vorliegenden Arbeit als ein alltägliches Unterrichtsgeschehen angesehen, in dem schwerpunktmäßig die Interaktionsprozesse der Lernenden untersucht werden sollen.
b) *das rekonstruktive Vorgehen:* Die Interaktion der beteiligten Akteure wird durch Interpretationen rekonstruiert. Im Detail soll dieses Vorgehen in Kapitel 6.3.4 dargestellt werden.
c) *die theoretische Grundannahme, dass Lernen, Lehren und Interagieren konstruktive Aktivitäten sind:* In diesem konstruktivistischen Verständnis von Lernen werden die beteiligten Akteure der unterrichtlichen Interaktion als „aktive Konstrukteure ihres Wissens“ (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 59) angesehen, weshalb subjektive Deutungen bezogen auf das Denken und Lernen einzelner von zentraler Bedeutung und Interesse sind. Denn Wissen ist nicht die Repräsentation von a priori Gegebenen oder die Abbildung einer objektiven Wirklichkeit und auch keine rein individuelle Angelegenheit. Vielmehr hat Wissen sozialen Charakter, da Realität in Interaktionsystemen hergestellt wird, in denen sowohl bereits vorgefertigte Deutungen vorgefunden als auch an situativer Bedeutungsaushandlung teilgenommen werden kann (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 59f.). Auch in der vorliegenden Studie werden durch das auditive Medium, die Lehrkraft sowie durch Aussagen von Lernenden vorgefertigte Deutungen gegeben, während gleichzeitig auch Bedeutungsaushandlungen in der unterrichtlichen Interaktion stattfinden. In den Interaktionsanalysen (Kap. 8) sollen mit Blick auf die Forschungsfragen vor allem Aushandlungsprozesse von Deutungen zwischen den Interaktionspartnern und innerhalb ihrer Interaktion in den Blick genommen werden.

Durch diese Charakteristika distanziert sich die Interpretative Unterrichtsforschung „von den globalisierenden und universalisierenden Theorieansätzen des rationalistischen Forschungsparadigmas“ (Krummheuer & Naujok, 1999, 22). Sie betreibt vielmehr „lokale Theoriegenese, und die Produkte sind kontextbezogene Theorien“ (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 22)

In der Interpretativen Unterrichtsforschung werden als präskriptive Merkmale für empirisch gegründete Theoriekonstruktion zum einen die Abduktion und zum anderen das methodische Prinzip der Komparation festgehalten. Krummheuer und Naujok (1999) beispielsweise betonen, dass die Forschungslogik, der in der Interpretativen Unterrichtsforschung gefolgt wird, die der Abduktion ist. Die erzielbaren Ergebnisse erscheinen also in Form von Hypothesen, welche die beobachteten Phänomene zu erklären im Stande sind. Dies entspricht der Theoriegenese mit Hilfe qualitativer Verfahren (Bohnsack 2010). Abduktive Schlüsse erlauben eine „entdeckende Wissenschaft“ (Flick et al. 2000, S. 24). Auch die Komparation hängt eng mit der Theoriegenese zusammen, da durch das Vergleichen mit den Daten mehr analytisch als nur deskriptiv gearbeitet werden kann (Krummheuer & Naujok, 1999). In der Formulierung einer zusammenfassenden Analyse nach jeder untersuchten Unterrichtssequenz können erste Anstöße für eine Theoriegenese gegeben werden. Im gezielten Vergleich können dann Ungereimtheiten oder Analogien auftreten und durch die Modifizierung von Interpretationen in der weiteren Theoriegenese Berücksichtigung finden. Komparation ist auf diese Weise „ein gezielt einsetzbares Mittel, um produktive Bedingungen für einen abduktiven Schluss herzustellen“ (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 67). In der vorliegenden Arbeit soll der Analyseprozess auf mehreren Ebenen (fallintern mit anderen Ausschnitten desselben Falles und im „gezielten kontrastierenden Fallvergleich“ (Flick, 2016, S. 180; siehe auch Kap. 6.2.2) als Komparation angelegt werden.

Bevor diese rekonstruktiven Schritte der Auswertung vollzogen werden können, muss jedoch wie bereits erwähnt zum einen das eine Bestandsaufnahmen der Forschungsfeldes erschlossen, aufgrund deren dann die auszuwertenden Sequenzen aus der Fülle des Datenmaterials bestimmt werden können. Dazu wird ein deskriptiver und strukturierender Auswertungsschritt vorangestellt. Die Datenanalyse wird somit durch eine Methodenkombination erreicht, die im Folgenden dargestellt und begründet werden soll.

6.2 Methodische Vorüberlegungen

Im Folgenden sollen die methodischen Vorüberlegungen beschrieben werden, mit denen das Design der Untersuchung entwickelt wurde. Dazu werden die Entscheidungen zur Methodenkombination (Kap. 6.2.1) und zur komparativen Analyse begründet (Kap. 6.2.2) sowie die Genese des purposiven Samplings (Kap. 6.2.3) und die Erkenntnisse aus den Pilotierungen beschrieben (Kap. 6.2.4).

6.2.1 Methodenkombination zur Datenanalyse

Ein großer Vorteil von Videoaufzeichnungen ist, dass diese das reale Geschehen in seiner Komplexität so naturgetreu wie nur möglich abbilden. Gleichzeitig steht man bei der Analyse von Videoaufzeichnungen vor einer umfangreichen Datenbasis, die ebenso komplex wie das reale Geschehen ist, und die immer subjektiv wahrgenommen und interpretiert wird (Dalahefte & Kobarg, 2012). Deshalb braucht es eine systematische Analyse, die immer vor dem Hintergrund der Forschungsfrage geschieht. Ziel einer systematischen Videoanalyse ist es zum einen, die Komplexität der beobachteten Situationen zu reduzieren, und zum anderen, subjektiven Verzerrungen entgegenzuwirken (Dalahefte & Kobarg, 2012). Dies kann natürlich auch anhand einer verschriftlichten Form von videographischen Daten (Transkripten) geschehen. Grundlegend ist ein theorie- und zielgeleitetes Vorgehen sowie eine begründete Entscheidung für eine Auswertungsmethode und die genaue Kenntnis ihres Vorgehens. Nach Flick (2016) kann die Auswertung bzw. Interpretation von Texten zwei gegenläufige Ziele verfolgen:

> Das Aufdecken, Freilegen oder Kontextualisieren der enthaltenen Aussagen etc. führt in Regel zu einer Vermehrung des Textmaterials - zu kurzen Passagen des Ursprungstextes werden seitenlange Interpretationen geschrieben. Die andere Strategie zielt auf die Reduktion der Ursprungstexte durch Zusammenfassung, Kategorisierung etc. Diese beiden Vorgehensweisen werden entweder alternativ verwendet oder nacheinander. (S. 387)

In der vorliegenden Arbeit wurden diese beiden Vorgehensweisen nacheinander – nur in umgekehrter Reihenfolge – durchgeführt (siehe Abb. 26) und somit zwei qualitative Auswertungsmethoden kombiniert. Zuerst wurde die große Datenmenge mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) strukturiert und kategorisiert. Das hierbei induktiv entstandene Kategoriensystem dient gleichzeitig der Beantwortung der Forschungsfrage F2 (Welche Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden?). Da das Kategoriensystem als deskriptive Bestandsaufnahme jedoch für das tiefergehende

Forschungsinteresse nicht ausreichend ist, sollen bestimmte Textpassagen in einer Detailanalyse ausführlicher untersucht werden. Deshalb wurden anschließend an die qualitative Inhaltsanalyse aus den für die Forschungsfrage F3 (Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisch-konzeptuelles und fachsprachliches Lernen unterstützen?) relevanten Kategorien eine Auswahl an – für die Beantwortung dieser Forschungsfrage relevanten – Unterrichtsausschnitten bzw. Interaktionssequenzen getroffen. Diese Stellen wurden dann im Sinne der Interpretativen Unterrichtsforschung mithilfe der Interaktionsanalyse (Krummheuer & Naujok, 1999) ausführlich interpretiert und für die Beantwortung der Forschungsfrage F3 herangezogen. Auf diese Weise konnten die Daten in einem zweischrittigen Verfahren (deskriptiv und rekonstruktiv) ausgewertet werden, indem ein qualitativ inhaltsanalytischer mit einem interaktionsanalytischen Zugang zum empirischen Material verknüpft wurde.

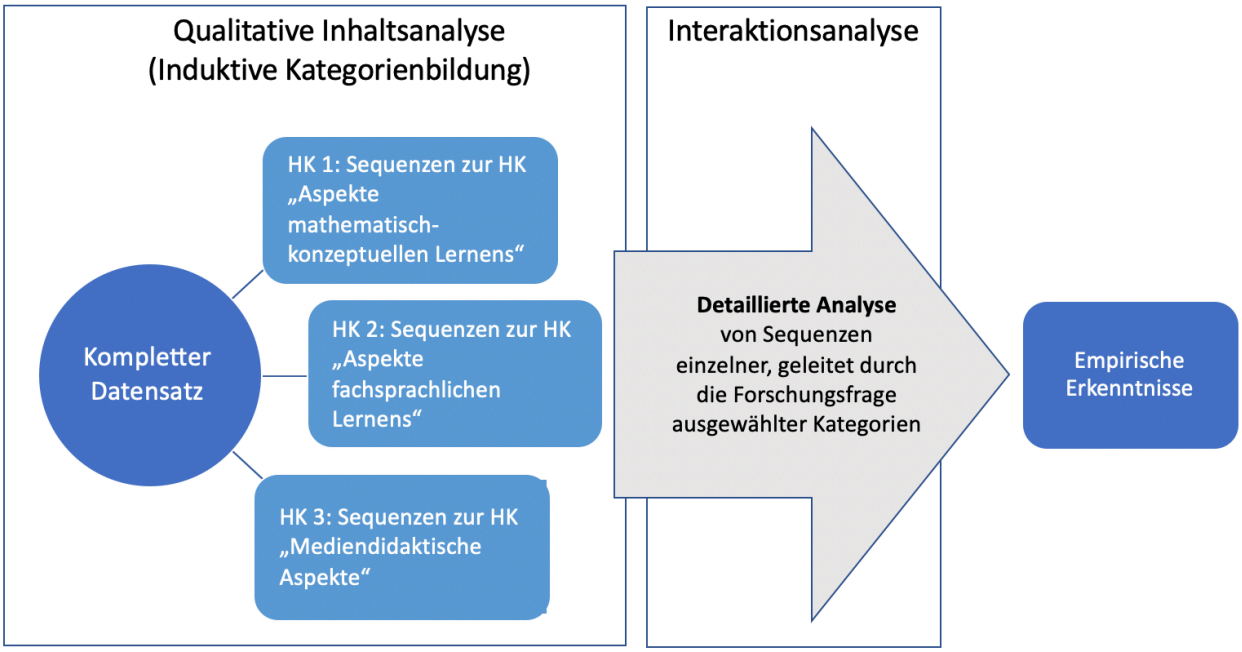


Abbildung 26: Vorgehensweise der Datenauswertung[26]

Auch in anderen Studien (z.B. Gebauer, 2013) konnte die kategorienbasierte Deskription mit dem interaktionsanalytischen Schritt verbunden werden, sodass „die Handlungen der am Unterricht Beteiligten, deren Deutungen der unterrichtlichen Situation und gegenseitiger Reaktionen sowie deren Aushandlung von Themen und Bedeutungen interpretativ aufgeschlossen und offengelegt wurden“ (Gebauer, 2013, S. 66). In der vorliegenden Studie liegt der Fokus des interaktionsanalytischen Schrittes auf drei Aspekten der Fokussierung,

[26] Eine differenzierte Herleitung der Hauptkategorien (HK) wird in Kapitel 7.1.2 dargestellt.

deren Entwicklung im Rahmen der Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse beschrieben wird (Kap. 8.1).

Triangulationsmodelle auf Designebene

Vorab soll klargestellt werden, dass sich die vorliegende Arbeit nicht als eine klassische ‚Mixed Methods'-Arbeit versteht. Laut Gürtler und Huber (2012) ist der Begriff ‚Mixed Methods' problematisch, da in einem Forschungsprozess streng genommen nichts gemischt werden kann. Für sie geht es vielmehr „um einen *Prozess des ständigen Vergleichens und Schließens* [Hervorhebung im Original] auf unterschiedlichen Ebenen im Verlauf der Datenerhebung und -analyse" (Gürtler & Huber, S. 37). Die Autoren plädieren deshalb dafür, nicht von Vermischung zu sprechen, sondern von Integrationen verschiedener methodischer Zugänge. Dazu zählen z.B. verschiedene Investigatoren oder Auswertungsmethoden (Gürtler & Huber, 2012).

Denzin (1970) spricht deswegen von ‚Multi Methods' statt von ‚Mixed Methods' und verwendet dazu den aus der Geodäsie stammenden Begriff der Triangulation, der zunächst in der quantitativen Forschung aufgegriffen wurde, jetzt aber hauptsächlich in der qualitativen Forschung verortet ist:

> Triangulation, or the use of multiple methods, is a plan of action that will raise sociologists above the personalistic biases that stem from single methodologieS. By combining methods and investigators in the same study, observers can partially overcome the defiencies that flow from one investigator and/or one method. […] The four basic types of triangulation are data […]; investigator […]; theory […] and methodological […]. (S. 300)

Triangulation im Sinne Denzins bedeutet also die Betrachtung eines Untersuchungsgegenstandes aus verschiedenen Perspektiven. Die vorliegende Arbeit stellt eine Methodenkombination aus zwei sequentiell eingesetzten qualitativen Methoden (qualitative Inhaltsanalyse und Interpretative Unterrichtsforschung) dar. Der ersten qualitativen Methode werden außerdem einzelne quantitative Auswertungsverfahren nachgestellt. Nach Denzins Definition ist hier also eine Triangulation gegeben. Auch nach der oben genannten Definition von Gürtler & Huber (2012, S. 39) lässt sich auf der Designebene von einem Triangulationsmodell sprechen. Da die Kombination zwischen und nicht innerhalb von Methoden stattfindet, handelt es sich hier um eine „between-method"-Triangulation (Flick 2017, S. 520). Die theoretische Triangulation bedeutet eine Annäherung an den Forschungsgegenstand vor dem Hintergrund unterschiedlicher theoretischer Perspektiven. In

dieser Arbeit sind durch den Forschungsschwerpunkt besonders die sprach- und mathematikdidaktische Perspektive wegweisend. Die Triangulation auf Datenebene durch Hinzunahme weiterer, kontrastierender Fälle wird nachfolgend dargestellt. Es liegen also Daten von verschiedenen Zeitpunkten, Orten und Untersuchungsgruppen (den Schüler:innen) vor. Auch auf Investigatorenebene wurde eine Triangulation angestrebt durch den Einsatz verschiedener Lehrkräfte als Interviewer, die Hinzunahme und das Training von Zweitcodierern, das Einbeziehen von Expert:innen außerhalb der Forschungsgruppe an verschiedenen Stellen im Forschungsprozess sowie die Durchführung der Interaktionsanalysen in Gruppen (Kap. 6.3.4 und 6.4.2).

Mayring und Fenzel (2019) argumentieren, dass die qualitative Inhaltsanalyse an sich schon zu den ‚Mixed Methods'-Ansätzen zugeordnet werden kann. Auch sie beziehen sich dabei jedoch auf Denzins Begriff der Triangulation als Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyseschritte. Unter Einbezug der Überlegungen, dass die qualitative Inhaltsanalyse dann nicht mit der Interpretativen Unterrichtsforschung ‚vermischt', sondern kombiniert wird, kann und soll die vorliegende Arbeit als Mulit-Methods-Modell im Sinne der Triangulation verstanden werden.

6.2.2 Entscheidung zur komparativen Analyse

Die Entscheidung für die beiden gewählten Radiosendungen des Kinderfunkkollegs Mathematik und den zugehörigen Lernumgebungen wurde schon vor der Planung der Vorstudie aufgrund der Erfahrungen einer offenen Exploration festgelegt. Im Rahmen der in der Einführung beschriebenen Kooperation mit dem Hessischen Rundfunk (Kap. 1.3) wurden über 50 Lernumgebungen zu den 22 Sendungen bzw. Themen geplant, erprobt und bisher 16 davon in optimierter Version dem Hessischen Rundfunk als Begleitmaterial für Eltern und Lehrkräfte zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise wurden bereits erste Einsichten bzgl. der Entwicklung und des Einsatzes auditiver Medien im Mathematikunterricht der Klassen 1 bis 4 erlangt sowie erste Konzepte etabliert. In dieser Exploration zeigte sich, dass die in Aufbau und Inhalt sehr unterschiedlichen Sendungen vielfältige Unterrichtsszenarien möglich machten und somit auch unterschiedliche Wirkungen erzielten. Aus diesem Grund sollte nicht nur ein Einzelfall detailliert betrachtet werden, sondern das Design einer „fokussierten und damit auch begrenzbaren komparativen Analyse" (Flick 2016, S. 179) genutzt werden.

Die vorliegende Untersuchung basiert dabei auf einem permanenten Fallvergleich und strebt nicht den Charakter einer klassischen Vergleichsstudie an, die eine Vielzahl von Fällen in Hinblick auf spezifische Teilaspekte in den Blick nimmt und einander vergleichend

gegenüberstellt (Bohnsack, 2010). Hier spielt der Standardisierungsgrad eine wichtige Rolle, da alle übrigen Bedingungen konstant gehalten werden müssen (Flick, 2016), um auch quantitative Schlüsse ziehen zu können. Das Ziel ist es stattdessen, qualitativ in die Tiefe zu gehen, um die Aspekte des mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens im Detail beschreiben zu können. Aus diesem Grund soll die Anzahl der zu vergleichenden Fälle auf zwei begrenzt werden (zwei Sendungen plus Lernumgebungen). Dabei gelten kontrastreiche Fälle als besonders vielversprechend (Krummheuer und Brandt, 2001), da sich an ihnen einfache Unterschiede und Ähnlichkeiten bestimmen und beschreiben lassen. Dieses Design eines kontrastierenden Fallvergleichs lässt sich nach Flick (2016) als eine Zwischenstufe zwischen Einzelfallanalyse und Vergleichsstudie einordnen:

> Die Dimension Einzelfall – Vergleichsstudie stellt eine Achse dar, anhand derer sich die Basisdesigns qualitativer Forschung ordnen lassen. Eine Zwischenstufe ist die Verbindung mehrere Fallanalysen, die zunächst als solche durchgeführt werden und dann komparativ oder kontrastierend gegenübergestellt werden. (S. 180)

Wie in Kapitel 6.1.2 schon als Kennzeichen qualitativer Forschung genannt, ist in diesem Design immer noch die (Einzel-)Fallrekonstruktion der Ausganspunkt. Beide Fälle werden einzeln rekonstruiert, um dann die Ergebnisse vergleichend heranzuziehen (Flick, 2016, S. 96). So soll auch im Studiendesign dieser Arbeit vorgegangen werden: Die beiden Lernumgebungen mit ihrem Einsatz auditiver Medien werden als Einzelfälle separat rekonstruiert, jedoch auch komparativ analysiert. Auf diese Weise wird die Ebene des einzelnen Falls durchbrochen und zum Zweck der Generalisierung – bzw. in diesem Fall zum Zweck der Vergleichbarkeit – die Basis der Untersuchungsgegenstände erweitert (Mayring, 2001, Abs. 20). Wesentlich ist dabei, dass das Besondere eines Falls im Vergleich mit einem anderen empirischen Fall herausgearbeitet wird und nicht auf Grundlage der subjektiven Vergleichshorizonte der Forschenden – es wird somit intersubjektiv nachvollziehbar und überprüfbar (Bohnsack 2010). Durch die Komparation können also Unterschiede und Ähnlichkeiten im Datenmaterial bestimmt und die Spezifität der beiden Fälle in Relation zueinander als Ergebnisse beschrieben werden (Krummheuer und Brandt, 2001). Sie ermöglicht eine Erkenntnisgewinnung durch Hypothesengenerierung (Bohnsack, 2010, S. 200). Krummheuer und Naujok (1999) nennen als Funktionen der Komparation neben der Theoriegenese zusätzlich noch die Plausibilisierung von Produkten und betonen, dass das Vorgehen nicht nur einen einzelnen analytischen Arbeitsschritt bezeichnet, sondern für einen methodischen Ansatz steht, der – wie auch in der vorliegenden Arbeit – den gesamten Forschungsprozess bestimmt. Neben dem gezielten kontrastierenden Fallvergleich werden auch fallintern Komparationen vorgenommen: zum

einen im Rahmen der Turn-by-Turn-Analyse (Kap. 6.3.4) und zum anderen im Rahmen abschließender Vergleiche von Interpretationen verschiedener Interaktionseinheiten miteinander (Krummheuer & Naujok, 1999), welche in der Zusammenfassung und Reflexion der Ergebnisse vorgenommen werden sollen (Kap. 9.2.3).

6.2.3 Genese des Purposive Samplings durch offene Exploration

Die begründete Auswahl dieser beiden Einheiten erfolgte in einer Form des ‚Purposive Sampling', worunter die gezielte Auswahl der zu untersuchenden Fälle verstanden wird. Patton (2002, S. 230-247) nennt 16 Arten des Purposive Sampling: z.B. extreme oder abweichende Fälle, Intensitäts-Sampling, maximale Variation der Fälle, typische Fälle, kritische Fälle, opportunistisches Sampling (Fälle, die einfach zugänglich sind), kriterienbasiertes Sampling (ähnlich dem selektiven Sampling, wie es z.B. bei Flick (2016) beschrieben ist) oder auch das theoretische Sampling. Auch eine Kombination oder Mischung verschiedener Arten ist als ‚Combination or Mixed Purposeful Sampling' möglich.

Diese 16 Arten des Purposive Sampling dienen als umfangreicher und hilfreicher Ansatz für die Genese eines eigenen Samplings. Suri (2011) betont, wie wichtig es ist, sorgfältig eine Sampling-Strategie zu identifizieren, die sowohl effizient dem Ziel der Forschung dient als auch glaubwürdig und suffizient ist. Vor dem Hintergrund der erhobenen Daten und der Forschungsfragen wurde deshalb entschieden, dass eine Kombination verschiedener Arten des Purposive Sampling am besten geeignet wäre, um bei dem Vergleich von zwei Lernumgebungen Beobachtungen anzustellen, die für eine Beantwortung der Forschungsfragen nötig wären. Das Mixed Purposeful Sampling kann gleichzeitig einen weiteren Aspekt der Triangulation bereitstellen (Patton, 2002). In der entwickelten Sampling-Strategie wird das Theoretische Sampling mit der maximalen Variation im Sample kombiniert. Beide Arten sollen im Folgenden kurz beschrieben und ihre Passung für die vorliegende Studie begründet werden.

Theoretisches Sampling

Das theoretische Sampling kann als ein Wechselspiel zwischen Theorie und Empirie beschrieben werden, welches die Erhebung und Analyse der Daten parallel zur Theoriegenerierung anleitet (Glaser & Strauss, 2010). Die Entscheidung für die Fälle und Untersuchungsgruppen erfolgt also schrittweise *während* des Prozesses der Datenerhebung und -auswertung (Flick, 2016).

> Theoretisches Sampling meint den auf die Generierung von Theorien zielenden Prozeß der Datensammlung, währenddessen der Forscher seine Daten parallel sammelt, kodiert und analysiert sowie darüber entscheidet, welche Daten als nächste erhoben werden sollen und wo sie zu finden sind. Dieser Prozeß der Datenerhebung wird durch die im Entstehen begriffene ... Theorie *kontrolliert* [Hervorh. Im Original]. (Glaser & Strauss 2010, S. 61)

Auch wenn es noch keine Theorien zum Einsatz von auditiven Medien im Mathematikunterricht gibt und die vorliegende Arbeit sich deshalb als hypothesengenerierend versteht, so wird die Arbeit doch mit apriorischen theoretischen Annahmen und lokalen Konzepten über Mathematikunterricht, den Einsatz von Medien, stoffdidaktischen Theorien sowie Erfahrungen aus der Pilotierung begonnen (Glaser & Strauss, 2010). Durch diese theoriengeleitete Datenerhebung (das theoretische Sampling) wurde die Auswahl zweier theoretisch interessanter Fälle getätigt, indem die Kriterien dafür, was überhaupt erhoben werden soll, aus der entstandenen bzw. entstehenden Theorie abgeleitet wurden (Glaser & Strauss, 2010). Es geht also nicht darum, die Repräsentativität der Stichprobe durch Zufallsauswahl zu gewährleisten, sondern die Fälle werden „nach ihrem (zu erwartenden) Gehalt an Neuem für die zu entwickelnde Theorie aufgrund des bisherigen Standes der Theorieentwicklung in die Untersuchung einbezogen“ (Flick, 2016, S. 159). Das Sampling ist also nicht vorab bestimmt, sondern die – bestehenden und entstehenden – theoretischen Werkzeuge werden genutzt, um die Relevanz der Daten zu beurteilen und zu sichern sowie eine möglichst spezifische Theorie zu generieren (Glaser & Strauss, 2010).

Für die Auswahl des ersten Falles im Sinne des theoretischen Samplings wird nach der Repräsentation wichtiger theoretischer Konstrukte in den Sendungen gesucht: „Finding manifestations of a theoretical contruct of interest so as to elaborate and examine the construct and its variations“ (Patton 2002, S. 243). Vor dem Hintergrund der Hörspielforschung sowie der Literatur zum Einsatz von auditiven Medien im Unterricht anderer Schulfächer, sollte also eine Sendung gewählt werden, die den Kriterien einer schülergerechten Radiosendung (Kap. 3.4.1) in besonderem Maße entspricht. Dazu fand eine offene Exploration verschiedenster Lernumgebungen zu verschiedenen Sendungen statt. Durch die offene Exploration fiel die Entscheidung für den ersten zu untersuchenden Fall auf die Sendung *Wann ist ein Spiel fair?*. In dieser Sendung gibt es eine anschauliche Rahmengeschichte, in die das mathematische Problem spielerisch eingebettet wird. Kindliche Protagonist:innen führen mathematische Begriffe kontextbezogen ein und nehmen die Rezipient:innen mit auf den Weg zu ihren Erkenntnissen. Mehr zu den Besonderheiten dieser Sendung ist in der fachdidaktischen und linguistischen Analyse dieser Sendung nachzulesen (Kap. 5.1). Durch das theoretische

Sampling wird also eine theoriebasierte gezielte Auswahl des ersten zu untersuchenden Falls betrieben.

Maximale Variation im Sample

Laut Mayring (2001, Abs. 19) sollen bereits bei der Fallauswahl Überlegungen bzgl. der Generalisierbarkeit einbezogen werden. Dazu wurde – wie gefordert – der Kontext der ersten Lernumgebung genau untersucht und vor dem theoretischen Hintergrund überlegt, ob die beobachteten Ergebnisse auf andere Lernumgebungen in ähnlichen Kontexten generalisierbar sind. Diese Überlegungen wurden in einem zweiten Sampling-Schritt getätigt. In der von Bohnsack genannten Kombination theoretischer und praktischer Vorkenntnisse, zeigte sich bereits, dass das theoretische Sampling als eine Form des Purposive Sampling auch mit anderen Formen des Purposive Sampling vermischt werden kann:

> [An das theoretisch Sampling] anschließende Auswahlentscheidungen werden dann auf der Basis jener gegenstandsbezogenen theoretischen Konzepte getroffen, die sich aus der Analyse der ersten Falldaten ergeben.[…] Das neu hinzugezogene Material wird dabei mit dem Ziel ausgesucht, im Wege […] Vergleichens sowohl neue Eigenschaften und Dimensionen der vorliegenden Konzepte herauszuarbeiten als auch weitere Konzepte zu entwickeln. (Bohnsack et al,. 2011, S. 154)

Dieses Vorgehen soll für die Erweiterung der Fallbasis um einen zweiten Vergleichsfall genutzt werden. Als mögliche Strategien für diese Erweiterung nennt Mayring (2001) die Gegenüberstellung von besonders häufig auftretenden Fällen, von Extremfällen bzw. Gegenbeispielen oder von anderen theoretisch interessanten Fällen. In der offenen Exploration wurden also während und nach der Durchführung zur Einheit *Wann ist ein Spiel fair?* erste Überlegungen mit Blick auf die für den Vergleich relevanten Dimensionen angestellt sowie erwogen, was für eine Art Fall anschließend untersucht werden sollte, um die Entwicklung der Theorie zu unterstützen. Konkret wurde der zweite Fall im Sinne der maximalen Variation im Sample gewählt. Es sollte für die komparative Analyse ein Fall hinzugezogen werden, der sich vom ersten Fall möglichst stark unterscheidet, „um darüber die Variationsbreite und Unterschiedlichkeit, die im Feld enthalten ist, zu erschließen“ (Flick 2016, S. 165). Dazu mussten zuerst die Schlüsseldimensionen möglicher Variationen identifiziert werden. Bezogen auf die Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* wurden Variationsdimensionen der Sendung auf verschiedenen Ebenen entwickelt. Diese sollen im Rahmen der Ergebnisdarstellung in einer komparativen Darstellung mit den Variationsdimensionen der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* ausführlich beschrieben werden (Tab. 7 in Kap. 9.2.1)

Im Hinblick auf die Theorie – insbesondere die Hörspielforschung – waren, wie eben beschrieben, die Merkmale auf der mediendidaktischen Ebene ausschlaggebend für das theoretische Sampling. Die Rahmengeschichte, die miteinander agierenden Protagonist:innen sowie die Experten zeichneten sich als sehr gelungene Aspekte im Sinne des theoretischen Konstruktes ab. Während der Datenerhebung der Vorstudie zeigten sich jedoch einige Aspekte auf mathematikdidaktischer Ebene, die – da sie spezifisch den inhaltlichen also mathematischen Bereich betreffen – in der Theorie der Hörspielforschung noch nicht abgebildet waren. Als offensichtlichste Variationsdimension der ersten Sendung eröffnete sich ihr mathematisches Inhaltsfeld „Daten und Zufall" und mit diesem die Frage, ob auch andere Inhaltsfelder auditiv vermittelt werden könnten. Gleichzeitig zeichnete sich die Beschaffenheit der mathematischen Begriffe als ein ausschlaggebendes Merkmal ab. Die in der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* eingeführten mathematischen Begrifflichkeiten sind von sehr abstrakter Natur. Begriffe wie ‚fair', ‚Zufall', ‚wahrscheinlich' und ‚Chance' sind für die Schüler:innen teilweise schwer greifbar gewesen oder stark subjektiv belegt. Im Hinblick auf das Forschungsziel der Untersuchung von sprachbildenden Prozessen sollte deshalb im Sinne der maximalen Variation im Sample ein zweiter Fall gewählt werden, der sich von dem ersten Fall in wichtigen Variationsdimensionen unterscheidet.

Aufgrund der Analysen der einzelnen Sendungen sowie den Erfahrungen in der offenen Exploration fiel die Entscheidung auf die Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?*. Diese Einheit unterscheidet sich zur ersten Einheit vor allem in der Behandlung des Inhaltsfeldes ‚Raum und Form' statt ‚Daten und Zufall'. Daran gekoppelt ist die Beschaffenheit der Begrifflichkeiten. Die meisten geometrischen Begriffe sind für Schüler:innen weniger abstrakt, sondern gegenständlicher. Weiterhin unterscheidet sich die Sendung zum ‚Haus der Vierecke' in fast allen Variationsdimensionen der mediendidaktischen Ebene. Es gibt weder eine Rahmengeschichte, noch Protagonist:innen, die miteinander agieren und ein mathematisches Problem zu lösen versuchen. Zwar sind O-Töne von Expert:innen und Kindern zu hören, jedoch nicht in Dialogform, sondern eher als eine Aneinanderkettung von kurzen referierten Sachverhalten. Ausführlich werden die Besonderheiten dieser Sendung in der fachdidaktischen und sprachlichen Analyse dargelegt (Kap. 5.2). Durch die Kombination des theoretischen Sampling und der maximalen Variation im Sample wurden also zwei Sendungen des Kinderfunkkollegs Mathematik für die Hauptuntersuchung ausgewählt und dabei mit den Variationsdimensionen Kriterien entwickelt, durch die diese Auswahl begründet werden kann. Da die Variationsdimensionen nicht vorab festgelegt waren, sondern in einem iterativen Prozess aus der sich aus den empirischen Analysen entwickelnden Theorie bestimmt wurden

(Flick 2016, S. 160), sollen sie als eines der Ergebnisse dieser Arbeit in Kap. 9.2.1 ausführlich vorgestellt werden.

Die Einheit zur Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* wurde – im Einklang mit den curricularen Vorgaben – sowohl in Jahrgangsstufe 4 als auch in der Jahrgangsstufe 2 erprobt. Die Einheit zur Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* hingegen wurde zusätzlich zur Jahrgangsstufe 4 auch in Jahrgangsstufe 6 untersucht (Kap. 5.2.5)

Untersuchungsgruppe \ Radiosendung		Wann ist ein Spiel fair?	Wer wohnt im Haus der Vierecke?
Jahrgangsstufe	Zyklus 1	Klasse 4	Klasse 4
	Zyklus 2	Klasse 2	Klasse 6

Tab. 6. Ausgewählte Fälle für die komparative Analyse

Das Kontrastieren der Daten (Tab. 6) führt dazu, dass sie besser verstanden werden können. Patton (2002) spricht hier von der Stärke Purposiven Samplings, gezielt „*information-rich cases* [Hervorhebung im Original] for study in depth“ (S. 230) zu selektieren, in denen sich möglichst viel und möglichst wichtige Aspekte im Sinne der Forschungsfrage untersuchen lassen. Dabei ist das Verständnis wichtiger als eine empirische Generalisierung (Patton, 2002). Es wird also keine Daten-Sättigung angestrebt, sondern „data sufficiency“ (Suri, 2011, S. 72), also das Vorliegen hinreichender und zweckmäßiger Daten für die geplante komparative Analyse. Auch Patton (2002) betont, dass es in qualitativen Untersuchungen keine festgelegten Sample-Größen gibt, sondern dass die Anzahl der Samples vor allem vom Ziel der Forschung und dem Umgang mit den Daten abhängig ist:

> The validity, meaningfulness, and insights generated from qualitative inquiry have more to do with the information richness of the cases selected and the observational / analytical capabilities of the researcher than with sample size. (S. 245)

Durch ihre Kombination konnte das theoretische Sampling mit der maximalen Variation im Sample zu einer passenden Strategie ergänzt werden, auf deren Grundlage die Auswahl der beiden Sendungen bzw. Lernumgebungen sowie der zu untersuchenden Jahrgangsstufen begründet werden kann.

6.2.4 Erkenntnisse aus den Pilotierungen

In einer Vorstudie im Sommer 2018 wurden speziell die beiden dieser Arbeit zugrunde liegenden Einheiten im Sinne der Design-Based Research konzipiert, in der Schulpraxis erprobt und weiterentwickelt (Peters, 2019). Dazu wurden erste Videoanalysen, Feldnotizen sowie Produkte der Schüler:innen ausgewertet. Die Einheit zur Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* wurde in einer vierten Klasse durchgeführt. Die Einheit zur Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* wurde in einer vierten sowie einer ersten Klasse durchgeführt. Durch die Erfahrungen der Vorstudie ergaben sich wertvolle Erkenntnisse und Hinweise sowohl für das Design der Einheiten als auch für das Design der Erprobung. Beispielhaft sollen im Folgenden sowohl zum Design der Lernumgebungen als auch zum Design der Studie je zwei solcher Erkenntnisse dargestellt werden.

Studiendesign

1. Gruppenzusammensetzung

In der Vorstudie wurden die Einheiten jeweils in einer ganzen Klasse erprobt mit dem Ziel, eine möglichst authentische Unterrichtssituation sowie eine möglichst leistungsheterogene Gruppe zu beobachten.

Beobachtungen:

Für die Videographie war dieses Vorgehen eher suboptimal. Die Geräuschkulisse sowie die große Anzahl an Akteuren erschwerten das akustische und inhaltliche Verständnis beim Betrachten der Videos. Außerdem gab es teilweise Komplikationen bei der Partnerarbeit, weil einige Kinder nicht gut mit ihrem Sitznachbarn auskamen.

Schlussfolgerungen:

- Für die Hauptstudie sollten die Einheiten in verkleinerter Gruppengröße durchgeführt werden. Dazu nahmen sechs bis acht Kinder (je nach Bedarf der jeweiligen Einheit) außerhalb des regulären Unterrichtes an der Untersuchung teil. Auf diese Weise wird mehr Ruhe in die Untersuchung gebracht, sodass die Videos leichter ausgewertet werden können, ohne dass die Unterrichtssituation gänzlich an Authentizität verliert.
- Für die Partnerarbeit werden die Gruppen von der jeweiligen Klassenlehrkraft ausgewählt und bestimmt. Einziges Kriterium sei, dass die Kinder gut und gerne miteinander arbeiten, damit tatsächlich relevante Interaktionen beobachtet werden können.

2. Gemeinsames Arbeiten am iPad

In der Vorstudie arbeiteten die Kinder gemeinsam an einem iPad. Über ein Y-Kabel (Splitkabel) konnten beide Kinder ein Paar Kopfhörer mit dem iPad verbinden und so gemeinsam die Audiobeiträge wiedergeben.

Beobachtungen:

Für die Arbeit im Klassenraum – und damit für ein authentisches Unterrichtsszenario – war diese Vorgehensweise optimal. Die Gruppen konnten selbstständig an ihren Höraufträgen arbeiten und dafür die Audiobeiträge selbstständig anhören bzw. beliebig oft wiederholen ohne die anderen Gruppen im Raum zu stören. Allerdings stellte sich bei der ersten Auswertung der Videoaufzeichnungen heraus, dass oft unklar blieb, welche Sequenz der Audios die Kinder gerade hörten. Es konnte also nur erschwert festgestellt werden, ob und wie die Kinder mit welchen auditiven Informationen arbeiteten.

Schlussfolgerungen:

- Für den Unterrichtsalltag empfiehlt sich die Arbeit am iPad mit y-Kabel und je einem Paar Kopfhörern pro Kind.
- Für das Untersuchungsdesign in verkleinerter Gruppengröße sollte jedoch ohne Kopfhörer gearbeitet werden, damit auf der Videoaufzeichnung auch nachvollzogen werden kann, welche auditiven Informationen die Kinder zu welchem Zeitpunkt rezipiert haben. Damit die Gruppen sich durch das Abspielen der Audios nicht gegenseitig irritieren, arbeiten sie während der Partnerarbeitsphase räumlich getrennt voneinander.

Design der Lernumgebungen

1. Bearbeiten von Höraufträgen

In beiden Einheiten gab es spezifische Höraufträge zu Audios, die im Plenum rezipiert und besprochen wurden sowie zu Audios, welche die Kinder in der Partnerarbeitsphase eigenständig am iPad über die Software iTunes abspielen konnten. Die Bearbeitung aller Höraufträge wurde im Plenum vorbereitet.

Beobachtungen:

Es zeigte sich, dass die Schüler:innen – in Anbetracht der ihnen gewährten Freiheit zur eigenständigen Bearbeitung der Höraufträge – Hilfestellung für die Struktur ihrer Arbeit brauchten. Außerdem hielten einige Kinder während des initialen Abspielens der Audios erste Notizen auf einem Schmierzettel fest, die für die weitere Untersuchung von Interesse zu sein

schienen. Einige Schüler:innen hätten sich das Einstelen einer individuellen Geschwindigkeit gewünscht, was mit der Software iTunes nicht möglich war. Weiterhin gab es in der Einheit zum ‚Haus der Vierecke' Schwierigkeiten mit dem Hörauftrag zum Falten der Symmetrieachsen. Nach dem Hören der Anleitung eines Kindes in der betreffenden Audiosequenz (MV, Z. 119-130) war ein Großteil der Lernenden nicht in der Lage, ihr Papier-Quadrat so zu falten, dass alle Symmetrieachsen sichtbar wurden.

Schlussfolgerungen:

- Um der selbstständigen Bearbeitung der Hörafträge mehr Struktur und Richtung zu geben, wurden die einzelnen Hörafträge in beiden Einheiten in einer Auflistung mit Kästchen zum Abhaken dargestellt (Anhang A5). Auf diese Weise erhalten die Schüler:innen Unterstützung durch einen möglichen Arbeitsplan sowie die Möglichkeit zur Selbstkontrolle. Außerdem wurden einige Anweisungen verkürzt.
- Um das selbstständige Einstellen einer individuellen Geschwindigkeit zu ermöglichen und damit die Sprechergeschwindigkeit an ihr individuelles Lerntempo bzw. ihre Verarbeitungsgeschwindigkeit anzupassen (Kap. 3.4.2), wurde für die Hauptstudie die Software ‚Quick-Time-Player' verwendet.
- Damit die Notizen der Schüler:innen auf ihren Schmierzettel nicht verloren gingen, wurde in der Einheit ‚Haus der Vierecke' der Schmierzettel in Form der Rubrik ‚Besonderes' in das Forscherheft integriert. Diese Rubrik stellte den ersten Forscherauftrag dar. Auf diese Weise konnte festgestellt werden, was den Schüler:innen am wichtigsten erschien, bevor sie dann durch spezifischere Hörafträge beim zweiten Hören selektierter zuhörten. Auch in der Einheit zu den Zufallsexperimenten sollten sie in der Partnerarbeitsphase vor der Erstellung des Wortspeicherplakates während des initialen Abspielens der Audios erste Notizen auf einem Schmierzettel festhalten.
- Bei dem Hörauftrag zum Falten der Symmetrieachsen, sollte das Falten erst während der Zweitrezeption der Anleitung in der Radiosendung geschehen. Auf diese Weise kann das Falten je nach Bedarf der Lernenden der Kontrolle eigener mentalen Vorstellungen (Kap. 2.2.2.) und/oder der direkten visuellen Rekonstruktion der auditiven Information dienen (Kap. 3.3.4).

2. Wortspeicher

In beiden Lernumgebungen war von Anfang an die Entwicklung eines Wortspeichers nach Götze (2015, S. 33ff.) eingeplant, in dem neue oder schwierige Begriffe bzw. Phrasen aus den Audiosequenzen geklärt und für die weitere Arbeit festgehalten werden sollten.

Beobachtungen:

In der Einheit zum Haus der Vierecke wurde der Wortspeicher gemeinsam mit der Lehrkraft im Plenum entwickelt. Hier ging es vor allem um das Visualisieren von Begriffsvorstellungen, das Zuordnen von Bildkarten zu den passenden Begriffen sowie um das Ordnen von Begriffen. In der Einheit zu den Zufallsexperimente waren die Begriffe teilweise sehr viel abstrakter und nicht einfach durch Bildkarten zu visualisieren (z.B. fair, wahrscheinlich, Chance etc.). Hier waren die verbalen Erklärungsversuche der Schüler:innen besonders interessant, wie später in den Detailanalysen gezeigt werden kann (z.B. Analyse 05).

Schlussfolgerungen:

- In der Hauptstudie soll zusätzlich zu der gemeinsamen Entwicklung des Wortspeichers im Plenum auch die selbstständige Entwicklung eines eigenen Wortspeichers mithilfe der Audiobeiträge untersucht werden. Diese soll in Partnerarbeit stattfinden.
- Um die Kinder nicht zu verwirren und den Fokus auf den Vierecken als ebene Figuren zu belassen, wird in der Hauptstudie sowohl der Audiobeitrag zur Unterscheidung von Körpern und ebene Figuren weggelassen (MV, Z. 1-44) als auch die Besprechung und Integration dieser Begriffe in den Wortspeicher. Der Wortspeicher enthält somit nur noch Begriffe oder Phrasen, die direkt mit ebenen Figuren bzw. Vierecken in Verbindung gebracht werden können.

6.3 Methodisches Vorgehen

Anschließend an die methodischen Vorüberlegungen soll im Folgenden das konkrete Vorgehen der Datenerhebung (Kap. 6.3.1) und -fixierung (Kap. 6.3.2) sowie die beiden Analyseschritte zur Auswertung der Daten dargestellt werden (Kap. 6.3.3 und 6.3.4). Abschließend wird die Anwendung der Gütekriterien für beide Analyseschritte jeweils separat dargelegt und die Gültigkeit der Untersuchung bestimmt (Kap. 6.4).

6.3.1 Datenerhebung

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Vorstudien sowie den theoretischen Überlegungen zum Sampling wurde ein Untersuchungsdesign bestehend aus vier Einzelstudien geplant. Zu zwei Radiosendungen wurde je eine Lernumgebung in jeweils zwei Klassenstufen durchgeführt und

untersucht (teilweise in mehreren Zyklen; siehe Anhang A2 und A9). Auf diese Weise soll eine komparative Analyse zum Einsatz der beiden auditiven Medien in den zugehörigen Lernumgebungen vollzogen werden. Da die Realität komplex ist und nicht zurückgespult werden kann, stellt die Videographie ein besonders ertragreiches Hilfsmittel für die Untersuchung von realen Phänomenen und alltäglichen Situationen dar. Wie bei Dalahefte und Kobarg (2012) beschrieben, lässt sich durch Videoaufzeichnung und deren systematische Analyse die Komplexität eines Geschehens weitestgehend abbilden. In der empirischen Unterrichtsforschung findet die Videoanalyse besonders dort Verwendung, „wo der Einfluss von Rahmenbedingungen auf Lernumgebungen oder die Wirkung von Lernumgebungen auf Zielkriterien im Fokus des Interesses stehen“ (Dalahefte & Kobarg, 2012, S. 15). Es wird die Möglichkeit eröffnet, Lernsituationen im Detail zu beschreiben. Diese Beschreibung kann in Kombination mit weiteren Datenquellen auch Hinweise auf die Wirksamkeit bzw. Bedeutung bestimmter Aspekte für das Lernen von Schüler:innenn geben. Überdies lassen sich Videoaufzeichnungen zur Transkription oder Detailanalyse in beliebiger Geschwindigkeit abspielen und können beliebig oft – auch unter Anwendung immer neuer Variablen oder Kriterien – wiederholt werden (Dalahefte & Kobarg, 2012). In der vorliegenden Studie wurde deshalb die Videographie als primäres Instrument der Datenerhebung gewählt. Zusätzlich zu den videographischen Daten werden als weitere Datenquellen die während der Einheiten entstehenden Schüler:innenprodukte mit in die Analyse einbezogen (z.B. Analyse 08).

Die Corona-Pandemie führte zu einer zwischenzeitlichen Unterbrechung der Datenerhebung. Die mehrmalige wochenlange Schließung der Grundschulen 2020 und 2021, die Maskenpflicht und die berechtigte Sorge von Eltern und Lehrkräften bzgl. externer Personen an der Schule wurde die Kooperation mit den Schulen maßgeblich erschwert und wäre weder vernünftig noch zielführend für eine effektive Datenerhebung gewesen. Aus diesem Grund lag eine lange Pause zwischen der Erhebung der ersten beiden Einheiten (‚Haus der Vierecke‘ in Klasse 4 und ‚Zufallsexperimente‘ in Klasse 4) im Sommer 2019 und der Erhebung der beiden weiteren Einheiten (‚Haus der Vierecke‘ in Klasse 6 und ‚Zufallsexperimente‘ in Klasse 2) Ende 2021. Diese Zeit konnte jedoch genutzt werden für eine erste Analyse der bisher erhobenen Daten und der Entwicklung eines Analyseinstrumentes – dem induktiv gewonnenen Kategoriensystem (Kap. 7.1.1).

Untersuchungsgruppe

Bei den Untersuchungsgruppen handelte es sich um jeweils 6-8 Kinder, die außerhalb ihres Regelunterrichtes in einem Laborsetting an der Lernumgebung teilnahmen. Insgesamt wurden 30 Kinder in die Untersuchung mit einbezogen. Die Einheit zum Haus der Vierecke wurde in Klassenstufe 4 und 6 durchgeführt; die Einheit zu den Zufallsexperimenten in Klassenstufe 2 und 4. Alle Gruppen wurden geschlechtergemischt und ohne spezifische Vorgaben von der Lehrkraft zusammengestellt – die einzige Vorgabe war die Erkenntnis aus der Vorstudie, dass jeweils zwei Kinder in Partnerarbeit gut miteinander arbeiten können sollten. Auf diese Weise kamen jeweils heterogene Untersuchungsgruppen zustande, die sich in ihren mathematischen und sprachlichen Fähigkeiten unterschieden, dafür jedoch zumeist ein gutes Arbeits- und Sozialverhalten in den Partnerarbeitsphasen zeigten. Außerdem gab es in jeder Gruppe Kinder, die nicht mit Deutsch als ihrer Muttersprache aufgewachsen sind. Teilweise sprechen diese Kinder im familiären Kontext weiterhin die Muttersprache, teilweise benutzen sie im familiären Kontext sowohl ihre Mutter- als auch die Zweitsprache Deutsch. In jedem Fall war es ihnen aber möglich, sich sprachlich aktiv am Unterrichtsgeschehen zu beteiligen. Von allen Kindern wurde im Vorfeld die schriftliche Erlaubnis der Eltern für die Videographie der Unterrichtsstunden eingeholt.

Vorgehen bei der Unterrichtsaufzeichnung

Da bereits durch die Aufzeichnung der zu untersuchenden Situation eine Selektion durchgeführt wurde, mussten bereits im Voraus und ausgehend von der Fragestellung einige Entscheidungen getroffen werden. Nur auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass die Videos auch tatsächlich alle Informationen enthalten, die für die Beantwortung der Fragestellung wichtig sind (Dalahefte & Kobarg 2012, S. 16f.). Da in der vorliegenden Arbeit der Einsatz von auditiven Medien im Unterrichtsgeschehen sowie dessen Auswirkungen untersucht werden sollen, musste in diesem Fall jeweils die gesamte Unterrichtseinheit aufgezeichnet werden und nicht nur Ausschnitte. Denn in allen Stunden der Einheit ist entweder die direkte Arbeit mit den auditiven Medien beobachtbar oder aber die indirekte Arbeit mit dem Gehörten, Rückbezüge oder Transferleistungen.

Im Sinne der Fragestellung sind besonders die Aussagen der Schüler:innen sowie ihre Interaktionen von Interesse. Deshalb wurde die Hauptkamera so positioniert, dass alle Akteure in den Blick genommen werden konnten (Abb.27). So musste in den Plenumsphasen keine weitere Kamera genutzt werden, sodass die Authentizität der Lernsituation nicht weiter

beeinträchtigt wurde. Weitere Kameras wurden für die Phase der Partnerarbeit an separaten Tischen aufgestellt. Diese Kameras zeichneten frontal die Interaktion der beiden Kinder sowie ihre Handlungen am Material bzw. am iPad auf.

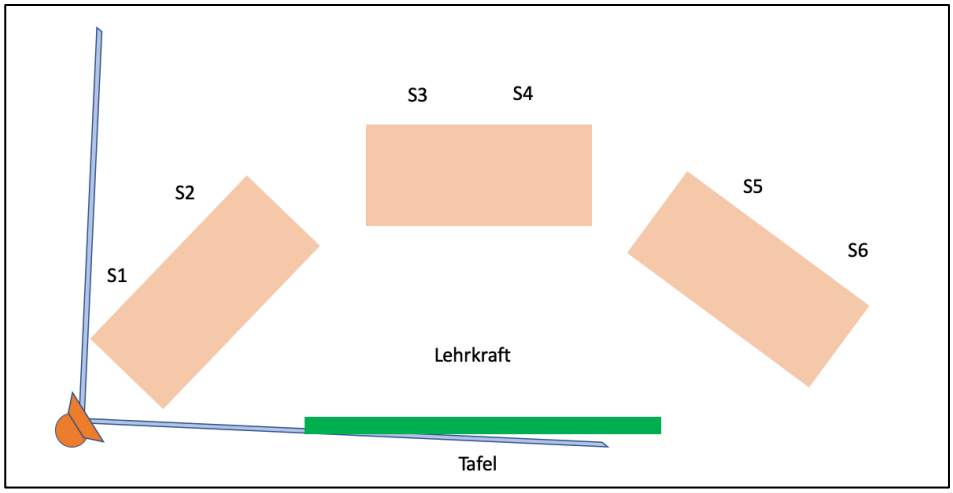


Abbildung 27: Kameraposition Plenum (Einheit ‚Zufallsexperimente', Klasse 4, Zyklus 3)

Zusätzlich zu den Videoaufzeichnungen wurden außerdem alle schriftlichen Produkte der Schüler:innen sowie gemeinsame Klassenprodukte (z.B. Wortspeicher) digital gesichert, um sie bei Bedarf zur genaueren Analyse heranziehen zu können.

Untersuchungssetting

Im Sinne einer stabilen Art der Durchführung wurde das Untersuchungssetting für die beiden Lernumgebungen jeweils gleich gehalten. Es wurde die gleiche Einheit mit den gleichen Materialien und dem gleichen Aufbau des Laborsettings (Positionen der Tische, Tafel, Kamera etc.) durchgeführt. Die Kinder wurden von ihrer Lehrkraft auf die Anwesenheit der Kameras und das Laborsetting vorbereitet. Dabei war für die Kinder nur die kleinere Gruppengröße ungewohnt. Der Klassenraum und ihre Mitschüler:innen stellte einen bekannten Rahmen dar.

Die Lehrkraft war dazu angehalten, den Unterricht normal und authentisch durchzuführen und den Kindern möglichst viel Raum für Sprechgelegenheiten zu bieten – durch Gesprächsanlässe, Nachfragen und ausdauerndes Warten auf Antworten (Kap. 4.4.4). Während der Partnerarbeitsphase zog die Lehrkraft sich weitestgehend zurück, um den Kindern den selbstständigen Umgang mit den auditiven Medien bzw. den Experimenten zu ermöglichen und möglichst wenig in die Interaktion einzugreifen. Beide Einheiten wurden als vierstündige Lernumgebung konzipiert und wurden als solche unter Einbezug der normalen Hof- und Frühstückspausen durchgeführt. Da zusätzlich zu den Plenumsphasen, alle

Gruppenarbeitsphasen parallel videographiert wurden, entstanden für die Auswertung insgesamt über 20 Stunden Videomaterial.

6.3.2 Datenfixierung: Aufbereitung der Videoaufzeichnungen

Für die ausführliche Analyse mussten die Daten schriftlich aufbereitet werden. Dazu wurde das Videomaterial transkribiert, sodass das gesamte zu untersuchende Unterrichtsgeschehen in schriftlicher Form vorlag. Dieser Schritt war notwendig im Hinblick auf das Forschungsinteresse insbesondere an den sprachlichen Prozessen. Es wurden dabei nicht nur sprachliche, sondern auch nonverbale Aktionen transkribiert. Da sich bzgl. zu nutzender Transkriptionsregeln bislang noch kein Standard durchgesetzt hat, orientieren sich die hier genutzten Regeln an verschiedenen Formen der erweiterten bzw. detaillierten Transkription sowie am Forschungsinteresse. Flick (2016) stellt mit Blick auf Transkriptionsregeln folgende Problematik sehr passend dar:

> In sprachanalytischen Zusammenhängen richtet sich das Interesse häufig darauf, ein Höchstmaß an erzielbarer Genauigkeit bei der Klassifikation von Äußerungen, Pausen und in ihrer Darstellung zu erzielen. [Jedoch] verleitet die Formulierung von Transkriptionsregeln häufig zu einem Fetischismus, der in keinem begründbaren Verhältnis mehr zu Fragestellung und Ertrag der Forschung steht. (S. 379)

Aus diesem Grund sollen in der vorliegenden Arbeit Transkriptionsregeln angewendet werden, die im Sinne der erweiterten oder detaillierten Transkription präzise genug sind, um sprachliche Prozesse analysieren zu können, aber eben auch nicht über das Forschungsinteresse hinaus die Lesbarkeit der Texte erschweren. Deshalb wird wie im folgenden Transkriptausszug (Abb. 28) beispielhaft zu sehen ist u.a. buchstäblich transkribiert (z.B. „nix“ <169>), Dialekte übernommen, Wort- und Satzabbrüche, Fülllaute und Pausen (z.B. „*(6 Sek.)*“ <165>) sowie Betonungen und Stimmhebungen bzw. -senkungen (z.B. „Chance/“ <172>) markiert.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
165 166 167	08:39	L	genau\ . . das sind gute Beispiele\ *(6 Sek.)* fällt euch dazu noch was ein/ . . wie man das erklären könnte\ *(8 Sek.)* *(Tarik meldet sich)* ja\
168 169 170 171	09:03	Tarik	**also**- wie vielleicht- **bei** vielleicht so- wenn auch **hier** vielleicht Pasch **nix** hat und **Straße** braucht nur noch eins- dann kann immer noch Pasch gewinnen\ weil da ist ne Chance\ <das der-
172	09:19	L	<du meinst dann hat der noch eine Chance/
173 174 175	09:21	Tarik	weil dann kann einfach die Straße nix mehr- mh- dann **kann** Pasch so viel Glü- **Glück** haben dass er ganz viele ehm- Pasch **würfelt** und die Straße gar nicht mehr\

Abbildung 28: Beispielhafter Transkriptionsausschnitt (TF_2Z_4K_2S)

Die Transkriptionsregeln, nach denen das Videomaterial aufbereitet wurde, sowie ihre Erläuterungen finden sich im Anhang (A1). Dort werden auch die Code-Bezeichnungen der Transkripte sowie einige Besonderheiten und Abkürzungen geklärt. Über die schriftlich vorliegenden Transkripte – ggf. unter Zuhilfenahme der Videoaufzeichnungen oder Schüler:innendokumente als ergänzendes oder unterstützendes Material – können dann sprachliche sowie auch nonverbale Aktionen für die systematische Analyse genutzt werden.

6.3.3 Analyseschritt 1: Qualitative Inhaltsanalyse

Die qualitative Inhaltsanalyse ist eine qualitative Auswertungsmethode von Texten bzw. „Material, das aus irgendeiner Art von *Kommunikation* [Hervorhebung im Original] stammt" (Mayring, 2015, S. 11). Ihr Vorgehen ist dabei streng systematisch, d.h. regelgeleitet und schrittweise. Auf diese Weise grenzt sie sich von einer freien Interpretation ab. Außerdem werden die Daten unter einer theoretisch ausgewiesenen Fragestellung analysiert: es liegt eine theoriegeleitete Begründung der Analyseschritte vor und auch die Ergebnisse werden vor dem theoretischen Hintergrund interpretiert (Mayring, 2015). Weiterhin verfolgt sie das Ziel, „*Rückschlüsse auf bestimmte Aspekte der Kommunikation* [Hervorhebung im Original] zu ziehen" (Mayring, 2015, S. 13) wie im vorliegenden Fall auf die sprachbildenden Aspekte in der Kommunikation und dem Einsatz der Interaktion mit dem auditiven Medium.

Das erste und forschungspraktischste Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse ist die Reduzierung großer und/oder unstrukturierter Datenmengen durch die Entwicklung von Kategoriensystemen. Flick (2016) nennt diese Methode eine „reduktive und an der Klassifikation von Inhalten orientierte Auswertung von großen Textmengen" (S. 416), deren systematisches und formalisiertes Vorgehen die Entwicklung eines einheitlichen Kategorienschemas ermöglicht, auf deren Grundlage dann auch verschiedene Einzelfälle verglichen werden können. Im Zentrum der Analyse stehen also die Kategorien als zentrales Instrument der Interpretation. Gleichzeitig ermöglicht die Konstruktion und Begründung des Kategoriensystems durch seine Nachvollziehbarkeit das Gütekriterium der Intersubjektivität des Vorgehens (Mayring, 2015, S. 51). Außerdem kann die qualitative Inhaltsanalyse durch andere – auch quantitative – Methoden und Auswertungsverfahren ergänzt werden. In der vorliegenden Arbeit soll durch die qualitative Inhaltsanalyse vor allem die Forschungsfrage F2 beantwortet werden:

F2: Welche Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit dem Radiobeitrag angeregt werden?

Durch die induktive Entwicklung eines Kategoriensystems – ausgerichtet an dieser Forschungsfrage – können die gesuchten Aspekte des mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens in den erhobenen Daten gefunden werden. In Form eines Inventars, welches „die Auflistungen der wichtigen Aspekte oder Elemente des Untersuchungsgegenstandes“ (Bortz & Döring, 2006, S. 381) enthät, kann ein erster Überblick über die empirischen Daten vermittelt werden. In der vorliegenden Arbeit stellt das Kategoriensystem in diesem Sinne ein Inventar der wichtigsten Aspekte des Einsatzes auditiver Medien für das Lernen im Mathematikunterricht dar.

Ein weiteres Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse für die vorliegende Arbeit ist die Vorbereitung der Detailanalyse für die Forschungsfrage F3:

F3: Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisch-konzeptuelles und fachsprachliches Lernen unterstützen?

Durch das Kategoriensystem können diesbezüglich:

- Textpassagen identifiziert werden, an denen eng mit dem mathematischen Inhalt des auditiven Mediums gearbeitet oder sich darauf bezogen wird.
- Textpassagen identifiziert werden, in denen der Beitrag als sprachliches Vorbild genutzt wird bzw. Scaffolding durch den Beitrag sichtbar wird.
- Textpassagen identifiziert werden, die zeigen, wie die Schüler:innen mit dem auditiven Medium umgehen und welche mediendidaktischen Kompetenzen bei der Nutzung zum Tragen kommen.

Diese Stellen können dann begründet für die vertiefende Analyse im Sinne der Interpretativen Unterrichtsforschung bzw. der Interaktionsanalyse genutzt werden. Auf diese Weise wirken die induktiv gewonnenen Kategorien einer möglichen Willkür bei der Auswahl der Transkriptionsausschnitte für die vertiefende Analyse entgegen.

Induktive Kategorienbildung

Nach Mayring (2015) ist die induktive Kategorienbildung der zusammenfassenden oder reduzierenden Inhaltsanalyse zugeordnet. Sie baut also auf den Techniken der

Zusammenfassung auf mit dem Ziel, den Untersuchungsgegenstand im Vordergrund stehen zu lassen, die inhaltliche Ebene der Daten zu untersuchen und dazu das gesamte Material auf das Wesentliche zu reduzieren. Ziel der Zusammenfassung bei der induktive Kategorienbildung ist ein Kategoriensystem, welches aus Kategorien besteht, die nicht deduktiv aus der Theorie entnommen werden und sich nicht auf vorab formulierte Konzepte beziehen, sondern induktiv direkt aus dem Material abgeleitet werden. Auf diese Weise kann das Material möglichst naturalistisch und gegenstandsnah abgebildet werden ohne Verzerrungen durch subjektive Perspektiven der Forschenden. Die induktive Kategorienbildung stellt damit eine fruchtbare Vorgehensweise mit großer Bedeutung für die qualitative Sozialforschung dar (Mayring, 2015, S. 85f.).

Bei dieser besonderen Art der reduzierenden Inhaltsanalyse werden „nur bestimmte (nach einem Definitionskriterium festzulegende) Bestandteile berücksichtigt“ (Mayring, 2015, S. 68). Es wird also, ausgehend von der Forschungsfrage, schon während der Analyse ein Fokus auf bestimmte zu untersuchende Aspekte gelegt. Die induktiv aus dem Material gewonnenen Kategorien können dann die erhobenen Daten abstrakt repräsentieren sowie in Beziehung zueinander setzen, z.B. durch das Bilden von Hauptkategorien und das Subsummieren von Unterkategorien. Mayring (2015) selbst beschreibt die induktive Kategorienbildung als eine offene Technik, die immer auch an die erhobenen Daten angepasst werden kann oder muss:

> Die Inhaltsanalyse ist kein Standardinstrument, das immer gleich aussieht; sie muss an den konkreten Gegenstand, das Material angepasst sein und auf die spezifische Fragestellung hin konstruiert werden. (S. 51)

Natürlich müssen in diesem Fall die methodischen Entscheidungen genau begründet und beschrieben werden sowie ein weiteres systematisches Vorgehen gesichert sein. In Anbetracht der Fragestellung dieser Arbeit, der Forschungslage und dem vorliegenden Datensatz (sowie seines Umfanges) ist die qualitative Inhaltsanalyse durch die Interpretationstechnik der Zusammenfassung bzw. der systematischen Kategorisierung des Materials durch induktive Kategorienbildung sowohl naheliegend als auch zweckmäßig für einen ersten Analyseschritt. Es werden Strukturierungsdimensionen bzw. Kategorien induktiv, d.h. aus dem Datenmaterial heraus, konkretisiert und ausdifferenziert. Dieses Vorgehen verspricht einer durch die Fragestellung geleitete Auswahl des Materials für die Detailanalyse sowie den von Mayring (2015) proklamierten ersten Rückschlüssen auf bestimmte Aspekte der Kommunikation und damit einer Näherung an die gesuchten Aspekte sprachlichen Lernens zur Beantwortung der Forschungsfragen.

Analyseprozess der Induktiven Kategorienbildung

Wie schon erwähnt, versucht die induktive Kategorienentwicklung die Kriterien der Auswertung aus dem Material heraus zu konstruieren. „Sie folgt dabei einem Ablaufmodell, in dessen Rahmen die Definition eines Selektionskriteriums, die schrittweise Materialbearbeitung und die Revision der neu entwickelten Kategorien zentral sind“ (Mayring 2001, Abs. 15). Das Prozessmodell in Abbildung 28 beschreibt den Analysevorgang der induktiven Kategorienbildung.

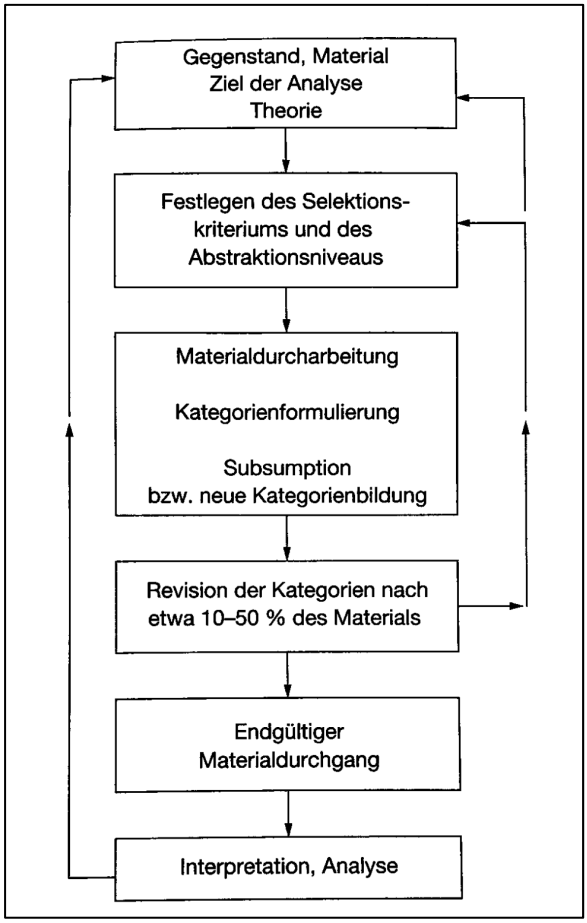


Abbildung 29: Prozessmodell induktiver Kategorienbildung (entnommen aus Mayring 2015, S. 86)

Zu Beginn der qualitativen Inhaltsanalyse bzw. der induktiven Kategorienbildung steht der Untersuchungsgegenstand bzw. das zu untersuchende Material sowie die übergeordnete Forschungsfrage und der theoretische Hintergrund der Studie. Auf dieser Grundlage soll nach Mayring (2015) ein Selektionskriterium bzw. eine Codierungsdefinition definiert werden. Diese Definition bestimmt, welche Aspekte im Material berücksichtigt und herausinterpretiert werden sollen bzw. über welche Aspekte Kategorien formuliert werden sollen, und verhindert den Fokus auf unwesentliche oder vom Thema abweichende Aspekte. Weiterhin wird das

Abstraktionsniveau der zu konstruierenden Kategorien formuliert, welches bestimmt wie allgemein und abstrakt oder wie konkret die Kategorien formuliert werden sollen.

Festlegung der Analyserichtung und -regeln:

Für die vorliegende Arbeit wurden das Ziel bzw. die Richtung der Analyse sowie die Analyseregeln im Hinblick auf die Beantwortung der explorativen Forschungsfrage F2 folgendermaßen bestimmt:

Übergeordnete Frage:

Welche Aspekte des Lernens werden durch die Arbeit mit dem Radiobeitrag angeregt?

Kodierungsdefinition:

Alle Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens im Zusammenhang mit dem mathematischen Inhalt der Einheit und des Beitrages.

Abstraktionsniveau:

Aspekte des Lernens können auch negativ gedeutet werden, eine Transferleistung kann z.B. scheitern oder durch etwas gehemmt werden. Es geht hier nur um die Kategorie, in der dieser erfolgreiche oder nicht erfolgreiche Lernprozess stattfinden kann oder könnte.

Anhand dieser Festlegung können schrittweise alle Datensätze durchgearbeitet und Kategorien entwickelt werden. „Nach einem ersten Durchgang der Kategorienbildung können die Kategorien schrittweise zu Hauptkategorien nach den Regeln der Zusammenfassung generalisiert werden“ (Mayring & Fenzl 2019, S. 637). Durch die Subsumption bzw. neue Kategorienbildung entsteht ein Kategoriensystem, das je nach Datenmenge bereits nach 10-50 % des Materials (Mayring, 2015, S. 12f.) in einer Rückkopplungsschleife überarbeitet und einer Reliabilitätsprüfung unterzogen werden kann und „dabei bis zur letzten Textstelle im Material um weitere neue, induktiv entwickelte Kategorien ergänzt werden darf“ (Mayring & Fenzl, 2019, S. 645). So kann eine möglichst genaue Abbildung der zu untersuchenden Phänomene gewährleistet sowie die Anreicherung von Kategorien sowie ggf. neue Erkenntnisse ermöglicht werden (Flick, 2016). Revision und Überarbeitung können mehrfach vollzogen werden und sowohl das Material als auch die Theorie in den Blick nehmen. Auf diese Weise wird induktiv aus dem Material heraus ein Kategoriensystem entwickelt (Anhang A3). Erst dann folgt der endgültige Materialdurchgang sowie die anschließenden Interpretationen der Ergebnisse in Richtung der Hauptfragestellung bzw. eine quantitative Analyse.

Festlegung der Analyse- und Codiereinheiten:

Für das schrittweise Durcharbeiten des Materials sieht die qualitative Inhaltsanalyse es im Allgemeinen vor, den Text in Analyseeinheiten (Auswertungseinheit, Kontexteinheit, Codiereinheit) zu segmentieren, um die Präzision der Inhaltsanalyse zu erhöhen. Da es im Prozess induktiver Kategorienbildung sinnvoll ist, die Analyseeinheiten möglichst offen zu halten (Mayring, 2015, S. 51), wurde auch in dieser Arbeit keine feststehende Segmentierung vorab festgelegt. Um trotzdem ein regelgeleitetes Verfahren zu verfolgen, wurden vor Beginn des offenen Codierens die Analyseeinheiten bestimmt.

- Die *Auswertungseinheit* gibt an, „welche Texte nacheinander ausgewertet werden; bei der induktiven Kategorienbildung per Definition das gesamte Material" (Mayring & Fenzl, 2019, S. 643). In der vorliegenden Arbeit ist die Auswertungseinheit also die komplette transkribierte Unterrichtseinheit. Dazu gehören sowohl die Unterrichtssituationen im Plenum als auch die Phasen der Partnerarbeit, die mit separaten Kameras aufgenommen und auch transkribiert wurden.
- Die *Kontexteinheit*, also „der größte in eine Kategorie fallende Textbestandteil" (Mayring & Fenzl, 2019, S. 643), bildet die Grundlage für die Codierentscheidung und wird mit der jeweiligen kompletten Unterrichtseinheit definiert plus ggf. zusätzliche Feldnotizen und Schüler:innendokumente.
- Die *Codiereinheit* ist letztlich „der kleinste auszuwertende Materialbestandteil" (Mayring & Fenzl, 2019, S. 643) und damit die Analyseeinheit, die im Codierprozess einer Kategorie zugeordnet werden kann. Diese Einheiten sind klare bedeutungstragende Elemente oder Phrasen – mehrere Wörter oder Sätze mit Sinnzusammenhang – in Richtung der Kategoriendefinition. Als minimale Codiereinheit wurde deshalb ein Wort und als maximale Codiereinheit ein Sinnabschnitt definiert. Grundsätzlich sollte möglichst großflächig codiert werden, um zu gewährleisten, dass codierte Einheiten auch dann verständlich sind, wenn sie über die Funktion „Liste der codierten Segmente" (MAXQDA, 2022) aus dem Transkript herausgelöst betrachtet werden (Kuckartz, 2018).

Genese der Kategorien:

Das Kategoriensystem mit Definitionen und Ankerbeispielen entstand induktiv nach der Codierung der ersten 10-30 % des gesamten Materials und wurde mehrfach überarbeitet. Dann erst wurde das restliche Material codiert. Die Codierung wurde als computergestützte

Datenanalyse mit der Software MAXQDA (2022) vorgenommen, die im Anschluss auch quantitative Auswertungsverfahren wie Häufigkeitsanalysen oder Dokumentenportraits ermöglicht, um einen Einblick in die Aspekte des Lernens mit auditiven Medien zu bekommen. Die erste Phase des Codierens wurde im Sinne Mayrings (2015) ohne einen deduktiv festgelegten Codierleitfaden, nur aufgrund der Codierungsdefinition vorgenommen.

Um die Investigator-Triangulation zu gewähren, wurde dieses offene Codieren in zwei verschiedenen Forschungsgruppen bzw. Interpretationsgemeinschaften durchgeführt. Auf diese Weise entstand eine Vielzahl verschiedener, sich teilweise überschneidender, im Sinn ähnlicher Kategorien. In der anschließenden Überarbeitungsphase wurden Kategorien, welche sich auf einen ähnlichen Gegenstand bezogen, zusammengefasst, reduziert und passend bezeichnet (Mayring & Fenzl, 2019). Mögliche Quellen für die Benennung oder Definition von Codes sind auch Begriffe aus der fachdidaktischen Literatur. So geht beispielsweise die Bezeichnung von K7a (Scaffolding durch das auditive Medium) auf Gibbons (2002) zurück. Die Kategorien wurden mit einer Explikation dessen, was mit der Kategorie gemeint ist, sowie einer Verdeutlichung durch ein möglichst typisches Ankerbeispielen aus den Daten der Studie angereichert. Beispielhaft ist dies in Abbildung 30 anhand der Kategorien K7 und K8a dargestellt. Im Falle von Bedeutungsüberschneidungen zweier Kategorien oder anderen Unklarheiten wurde die Explikation noch um Abgrenzungsregeln ergänzt.

Code	Kategorie	Beschreibung	Beispiel
K 7a	Scaffolding durch das auditive Medium	Audio-Sequenzen werden abgespielt; Begriffe oder Phrasen aus dem Beitrag werden übernommen (Mikro-Scaffolding)	„das man äh sich die besser vorstellen k a n n .. und . äh wie die miteinander verwandt sind\“ (TV_2Z_4K_1S, Z.217-218)
K 7b	Scaffolding durch die Lehrkraft	Lehrkraft praktiziert Mikro-Scaffolding; Begriffe oder Phrasen der Lehrkraft werden übernommen	„Genau\ zwei gleiche Zahlen- . A l s o (*schreibt auf das Plakat)* beide Würfel zeigen die gleiche Zahl“ (TF_1Z_4K_1S, Z.214-215)
K 8a	Bezug zu Erklärungen aus dem auditiven Medium	Wiedergeben von Sachverhalten, Definitionen etc.	„dass das Quadrat ganz oben ist\ . die Königin\“ TV_2Z_4K_4S, Z.190)

Abbildung 30: Auszug aus dem induktiv entwickelten Kategoriensystem (A3)

Im zweiten Materialdurchgang konnten dann die zu untersuchenden Einheiten den induktiv gewonnenen Kategorien zugeordnet bzw. codiert werden. Zeigte eine Codiereinheit unterschiedliche Aspekte auf, konnte sie auch zu mehreren Kategorien zugeordnet werden (Mayring & Fenzl, 2019). Um zu gewährleisten, dass das Kategoriensystem das Beobachtungsfeld nicht einengt, sondern möglichst vollständig ist und kein wichtiges Element bei der Beobachtung übersehen wird, empfehlen Dalahefte und Kobarg (2012, S. 18) die Nutzung der Kategorie ‚Andere‘ zu Beginn des offenen Codierens. Durch diese Kategorie kann gewährleistet werden, dass jedes relevante Ereignis in die Analyse mit einbezogen und das

Kategoriensystem ggf. erweitert oder überarbeitet wird. Das Ergebnis des offenen Codierens ist dann zum einen die Liste der vergebenen Codes bzw. induktiv gewonnen Kategorien – angereichert durch die zur Erläuterung und inhaltlichen Definition nötigen Codenotizen (Abb. 31; linke Seite) – sowie zum anderen die Liste der codierten Segmente im Material (Abb. 31; unten rechts).

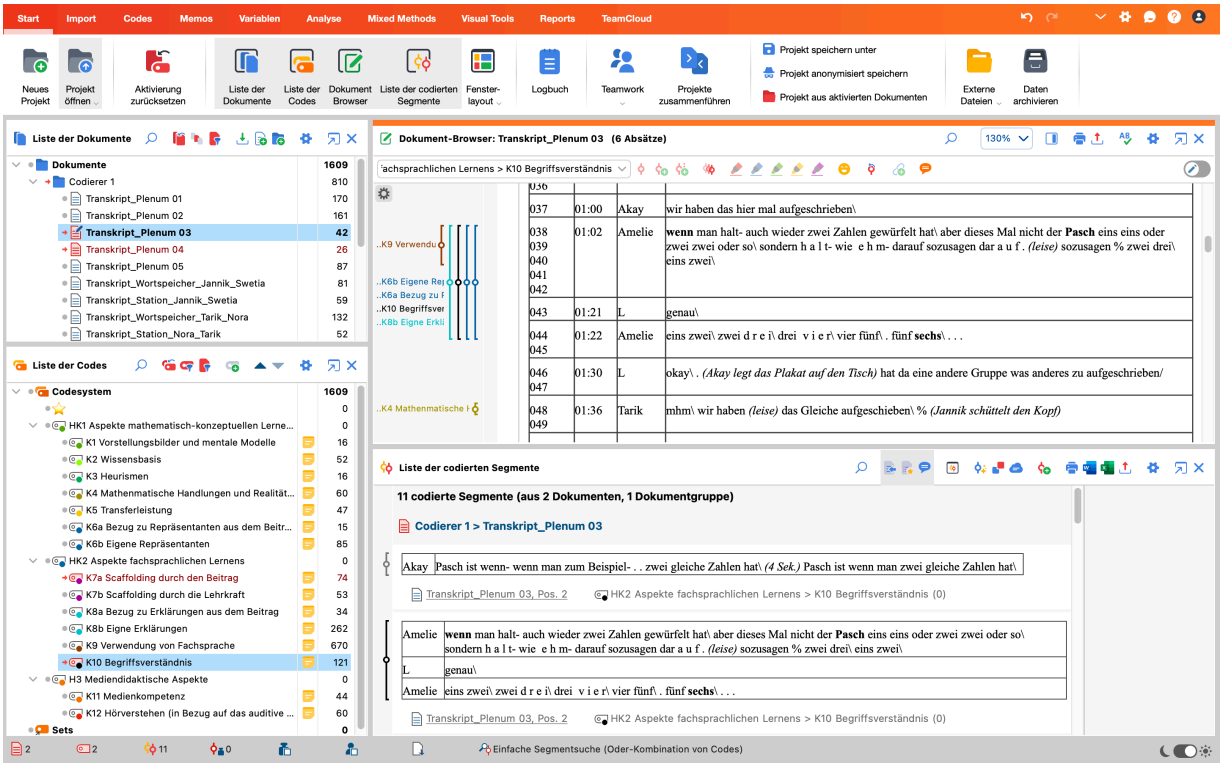


Abbildung 31: Arbeitsfläche in MAXQDA 2022

Für jede Kategorie lassen sich die jeweils zugeordneten Textstellen separat anzeigen. Außerdem werden in diesem Prozess zahlreiche Memos im Material bzw. der Software MAXQDA (2022) angelegt, in denen für die zu entwickelnde Theorie relevante Gedanken festgehalten sowie markante Sequenzen oder Auffälligkeiten im Material für spätere Analysen markiert werden können (Flick, 2016).

Subsumption: Entwicklung der Hauptkategorien

Im nächsten Schritt konnten dann alle induktiv gefundenen Kategorien zu folgenden drei – auf einem höheren Abstraktionsniveau liegenden Hauptkategorien – subsummiert werden, die hier nur zur Klärung der Zuweisung genannt werden sollen. Die Beschreibung und Interpretation aller Kategorien und Hauptkategorien erfolgt in Kapitel 7.1.2.

HK1: Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens

HK2: Aspekte fachsprachlichen Lernens

HK3: Mediendidaktische Aspekte

Anfangs gab es einige Doppelzuweisungen von Kategorien zu HK1 und HK2, da Kategorien wie z.B. K8b (Eigene Erklärungen und Definitionen sowie Rückbezug zu eigenen Erklärungen) sowohl Aspekte mathematischen als auch sprachlichen Lernens enthalten können. Dies ist keineswegs verwunderlich, da mathematisches und sprachliches Lernen – wie zu Beginn dieser Arbeit dargelegt – unweigerlich miteinander verknüpft sind (Kap. 4). In den Phasen des konsensuellen Codierens wurde deshalb gemeinsam entschieden, wie mit solchen Kategorien umgegangen werden soll. Im Sinne Flicks (2016), der betont, dass die Kategorien „um für die jeweilige Fragestellung besonders relevante Phänomene, die in den Daten entdeckt wurden, gruppiert und damit kategorisiert“ (S. 263) werden sollen, wurde die Kategorie K8b beispielsweise der Hauptkategorie HK2 subsummiert. Natürlich enthalten Erklärungen auch eine Wissensbasis (deklaratives oder prozedurales mathematisches Wissen). Dieses wurde jedoch eigens codiert und der Hauptkategorie HK1 subsummiert. Um im Sinne der Fragestellung auch das fachsprachliche Lernen untersuchen zu können, wurden also sprachliche Erklärungen zusätzlich mit K8b codiert und diese Kategorie der Hauptkategorie HK2 subsummiert. Auf diese Weise kann im Hinblick auf die anschließenden Analysen die Hauptkategorie HK2 dem Herausfiltern aller wichtigen Codiereinheiten dienen, die in Bezug auf Sprachbildungsprozesse von Interesse sind.

Durch die Subsumption der Kategorien zu Hauptkategorien entstand eine vorläufige Version des induktiv entwickelten Kategoriensystems. Dieses System wurde vor dem endgültigen Materialdurchgang mit zwei nicht an der Entwicklung des Kategoriensystems beteiligten Kolleg:innen besprochen, um seine Anwendbarkeit auch außerhalb der Forschungsgruppe zu prüfen. Im endgültigen Materialdurchlauf erfolgte dann auf dieser Grundlage die Codierung des gesamten Materials, d.h. der Transkripte aller Unterrichtseinheiten. Das gesamte Material wurde auch von einem in das Projekt eingearbeiteten Zweitcodierer codiert. Mit den Hauptkategorien selbst wird dabei nicht codiert, das heißt eine Textstelle kann nicht mit dem Code HK2 codiert werden. Die Hauptkategorien dienen allein der Struktur des Kategoriensystems.

Durch diese Art des systematischen Codierens, lassen sich nach Mayring (2001, Abs. 16 & 17) die im ersten Schritt der qualitativen Analyse gewonnenen Zuordnungen als Daten auffassen, die sich in einem zweiten Analyseschritt quantitativ weiterverarbeiten lassen, um dann im dritten Schritt wieder qualitativ interpretiert zu werden. Durch die Kombination qualitativer und quantitativer Analyseschritte mithilfe der Analyseinstrumente, die Softwares wie MAXQDA (2022) liefern, lässt sich schon in den ersten beiden genannten Schritten das Ziel der Theorieentwicklung erreichen, „Muster in den Daten sowie Bedingungen, unter denen diese zutreffen, zu entdecken" (Flick, 2016, S. 397). Die Kombination qualitativer und quantitativer Analyseschritte beschreibt Mayring (2001, Abs. 8) auf fünf unterschiedlichen Ebenen:

- **Ebene der Forschungslogik:** Ein gemeinsames Ablaufmodell des Forschungsprozesses führt zur Integration qualitativer und quantitativer Forschungsansätze.
- **Datenebene**: Induktive Kategorienbildung sowie die qualitative und quantitative Verarbeitung dieser Kategorien.
- **Personenebene**: Hinzunahme weiterer zu untersuchender Personen bzw. in diesem Fall weiterer zu untersuchender Lernumgebungen.
- **Technische Ebene:** Diverse Kombinationsmöglichkeiten durch computerunterstützte qualitative Analyse.
- **Designebene**: Durch Vorstudienmodelle oder Triangulationsmodell können qualitative und quantitative Analyseschritte miteinander kombiniert werden.

In der vorliegenden Arbeit werden auf allen Ebenen qualitative und quantitative Ansätze verbunden. Auf Ebene der Forschungslogik spiegelt sich das o.g. Dreischrittmodell – qualitative Analyse, quantitative Prozeduren, qualitative Interpretation – wider (Mayring, 2001). Auf der Datenebene finden also qualitative und quantitative Verarbeitungsprozesse statt. Beispielsweise kann auch die Bildung von Oberkategorien und das Subsummieren der Kategorien nach Mayring (2012) als quantitativer Analyseschritt angesehen werden, da hier bereits quantitative Erwägungen eine Rolle spielen – selbst wenn statistische Prozeduren nicht zum Einsatz kommen. Durch die Hinzunahme weiterer Lernumgebungen bleibt die Untersuchung nicht bei einer Einzelfallanalyse, sondern es wird eine komparative Analyse mehrerer Fälle angestellt – wobei hier nicht der Anspruch an eine quantitative Vergleichsstudie gestellt werden soll. Die Kombination qualitativer und quantitativer Ansätze auf technischer und Designebene sollen im Folgenden kurz genauer dargelegt werden.

Quantitative Analyse auf technischer Ebene

Auf der technischen Ebene werden in der Analyse in Anlehnung an Mayring (2001, Abs. 11):

- Textstellen, die gleich oder ähnlich codiert wurden, für die Analyse einzelner Kategorien über die Funktion ‚Liste der codierten Segmente' (MAXQDA, 2022) zusammengestellt,
- das gemeinsame Auftreten mehrerer Codierungen in Textstellen über die Funktion ‚Codelandkarten' (MAXQDA, 2022) untersucht,
- die Codehäufigkeiten bzw. Codeabdeckungen im Material gegenübergestellt sowie
- die Intercoder-Übereinstimmung berechnet und so das Auswertungsurteil mehrerer Auswerter am gleichen Material verglichen.

Diese technisch realisierten quantitativen Analyseschritte lassen die zentralen qualitativen Analysearbeiten bei den Codierenden. Sie fungieren als technische Hilfsmittel, unterstützen die Codierenden im Auswertungsprozess, dokumentieren die einzelnen Auswertungsschritte und bieten Möglichkeiten zur Ergebnisdarstellung durch Visualisierungen. Durch diese Kombination qualitativer und quantitativer Auswertungsschritte gewinnt die Analyse entscheidend an Transparenz und Systematik (Mayring, 2001, Abs. 13).

Die ersten drei der aufgeführten Möglichkeiten quantitativer Analyse auf technischer Ebene werden im Kapitel 7.2 ausführlich thematisiert. Da durch die Berechnung der Intercoder-Übereinstimmung – als wichtigem Aspekt von Quantifizierungen in der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2012) – eine erste Anwendung bzw. Überprüfung inhaltsanalytischer Gütekriterien stattfindet und sie den Prozess der Kategorienausdifferenzierung maßgeblich steuert, soll die Intercoder-Reliabilität in Kapitel 6.4.1 ausgeführt werden.

6.3.4 Analyseschritt 2: Interaktionsanalyse

Der zweite Analyseschritt wird durch die Interaktionsanalyse durchgeführt. Das Auswertungsverfahren der Interaktionsanalyse wurde als besondere Ausprägung der Sequenzanalyse und basierend auf der Konversationsanalyse und der Ethnomethodologie speziell für mathematikdidaktische Analysen entwickelt (ausführlich z.B. in Krummheuer & Naujok, 1999). Die Interaktionsanalyse steht in einer explizit fachdidaktischen Perspektive, nimmt also auch die inhaltliche (mathematische) Ebene in den Blick, was sich in der nachfolgend angesprochenen ‚thematischen Entwicklung' zeigt. Sie beruht auf einer interaktionistischen Position und dient der in Kap. 6.1.2 bereits beschriebenen Rekonstruktion von Bedeutungsaushandlungen durch die Analyse der interaktiven Wechselbeziehung

zwischen den Lernenden selbst sowie zwischen den Lernenden und den Lehrpersonen. Denn laut Bohnsack (2007) liegen Interpretationen nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Forschungssituation an sich – zwischen den Interaktionspartnern innerhalb ihrer Interaktion. Auch die Akteure interpretieren mathematische Gegenstände und beeinflussen sich im Miteinander durch sprachliche Äußerungen gegenseitig in ihren Deutungen, sodass der individuelle Entwicklungsprozess auch als Koproduktion der Beteiligten gesehen werden kann (Krummheuer & Fetzer, 2005). In spezifischen Interaktionssituationen sollen also die thematischen Entwicklungen von Interaktionsprozessen untersucht und (re-)interpretiert und somit „rekonstruiert werden, wie Individuen in der Interaktion als gemeinsam geteilt geltende Deutungen aushandeln und was sie dabei aushandeln“ (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 68).

Interaktionsprozesse lassen sich definieren als Kommunikation zwischen mindestens zwei Personen, die geprägt ist „durch einen spezifischen Sprachgebrauch und ein spezifisches Symbol- bzw. Zeichensystem“ (Schreiber et al., 2015, S. 593). Dieses lässt sich am besten erforschen, wenn in die Interaktionsprozesse zwischen den Beteiligten möglichst wenig eingegriffen wird. Unter zusätzlicher Hinzunahme von Handlungsmustern (Gestik, Mimik und Deixis) sollen in der vorliegenden Arbeit durch dieses methodische Vorgehen mit Blick auf das fachliche und sprachliche Lernen die Auslegung und Analyse der Unterrichtsprozesse erreicht werden. Dazu werden die im Video konservierten und im Transkript schriftlich fixierten Interaktionsprozesse des untersuchten unterrichtlichen Geschehens aus interaktionistischer Perspektive nachgezeichnet, d.h. rekonstruiert. Dabei soll im Sinne des kognitiven Stils (Soeffner, 1989) der Wissenschaft methodisch kontrolliert eine Vielfalt von Interpretationsmöglichkeiten erzeugt werden, um aus dem Vergleich dieser alternativen Lesarten zum einen wirksame Handlungs- und Deutungsmuster aufzudecken. Ziel ist durch die spätere Einschränkung dieser Deutungsvielfalt dann „die objektive Begründbarkeit der abschließenden Interpretation, die aus der kritischen Sichtung im ‚Lesartenvergleich‘ die Fallspezifik, das heißt die Singularität einer Interaktionskonfiguration, sichtbar macht“ (Soeffner, 1989, S. 23). Am Ende der Interaktionsanalyse steht also weniger eine Generalisierung als eine Spezifizierung (Krummheuer & Naujok, 1999). In der vorliegenden Arbeit geht es in diesem Sinne um die Spezifizierung der Lernprozesse von Schüler:innen bei der Arbeit mit auditiven Medien. Diese werden mithilfe der Interaktionsanalyse im Detail nachvollzogen und untersucht. Dazu werden nach Krummheuer und Naujok (1999, S. 68-71) folgende fünf Analyseschritte durchlaufen:

1. *Gliederung der Interaktionseinheit:* Nach unterschiedlichen Kriterien, die den Forschungsprozess widerspiegeln können, wird die gesamte Interaktionseinheit (z.B. die vierstündige Lernumgebung zum Haus der Vierecke) in kleinere Einheiten gegliedert (hier nach fachdidaktischen Kriterien z.B. ‚Partnerarbeit: Nora & Tarik').
2. *Allgemeine Beschreibung:* In einer ersten oberflächlichen Schilderung wird nur der in einer Erstzuschreibung vermutete Sinngehalt benannt.
3. *Ausführliche Analyse der Einzeläußerung:* Durch eine ausführliche sequentielle Analyse werden alternative Interpretationsmöglichkeiten entwickelt bzw. (re)konstruiert. Die chronologisch durchgeführten Interpretationen sind nach vorne hin offen und müssen sich im Verlauf der Interaktion bewähren. Plausibilisierungen können also nur rückwärtsgewandt erfolgen. Wie auch in der sequenziellen Analyse (Flick, 2016) sollen die Interpretationen der Transkripte in Gruppen durchgeführt werden, um so die Variationsbreite der Lesarten und Perspektiven auf die Interaktionsprozesse zu erweitern und gefundene Interpretationen durch andere zu validieren.
4. *Turn-by-Turn-Analyse:* Es werden Beziehungen zwischen den verschiedenen Redezügen hergestellt bzw. rekonstruiert. Auf diese Weise wird die gemeinsame, Zug-um-Zug erfolgende Themenentwicklung rekonstruiert. Interpretationen, die sich im Laufe der weiteren Interaktion nicht bewähren, werden verworfen.
5. *Zusammenfassende Interpretation:* Die am besten zu begründende Gesamtinterpretation der Szene wird zusammengefasst und kann Anstoß zur Theoriegenese geben. In dieser Arbeit werden zusammenfassende Interpretationen direkt anschließend an die analysierte Transkriptsequenz dargestellt.

Dieser Fünfschritt ist nicht als statisch festes Schema zu verstehen und verlangt kein lineares Abarbeiten. „Ein Überspringen und Zurückspringen tritt auf und ist in vielen Fällen auch bereichernd" (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 68). In der vorliegenden Studie beispielsweise wurde der erste Schritt, die Gliederung der Interaktionseinheit, durch die qualitative Inhaltsanalyse ersetzt, welche das Material, die gesamte Interaktionseinheit sehr detailliert vorstrukturiert. Entscheidend ist nach Krummheuer und Naujok (1999, S. 68), dass alle Maximen hinreichend berücksichtigt werden.

6.4 Anwendung der Gütekriterien qualitativer Forschung

Die Betrachtung und Anwendung qualitativer Gütekriterien muss in den Rahmen der allgemeinen Diskussion um die Bedeutung von Standards in der qualitativen Forschung gesetzt werden. Diese Diskussion hat ihren Ursprung in den klassischen Gütekriterien der quantitativen

Forschung (Standardisierung, Messbarkeit, Genauigkeit, Reproduzierbarkeit), die für und in Settings der psychologischen Testtheorie entwickelt wurden (Kuckarts, 2018). Die Settings qualitativer Forschung unterscheiden sich so stark von denen der quantitativen Forschung, dass sich hier kaum dieselben Gütekriterien anlegen lassen und selbst innerhalb der qualitativen Forschung sind die hinsichtlich ihrer erkenntnistheoretischen Prämissen unterschiedlichen, theoretischen Vorannahmen und Verfahren keineswegs kompatibel (Lüders, 2011). Es gibt zwar Positionen, die immer noch gleiche Kriterien für qualitative und quantitativen Forschung verlangen oder aber Gütekriterien für die qualitative Forschung ganz ablehnen, jedoch findet die Position der Spezifität von Gütekriterien für die qualitative Forschung immer mehr Anhänger (Lüders, 2011). Hierbei sollen Gütekriterien reformuliert oder neuformuliert werden, um auf diesem Wege spezifische Standards für die qualitative Forschung zu entwickeln.

> Der Ausweg aus dieser aktuellen Verlegenheit um die Gütekriterien qualitativer Sozialforschung kann nur darin bestehen, sich von der auf Dauer vermutlich vergeblichen Suche nach *den* Gütekriterien für *die* qualitative Sozialforschung zu befreien und den Weg für verfahrens- und gegenstandsbezogene Kriterien zu öffnen. (Lüders, 2011, S. 82)

Es muss also nicht nur spezifische Standards für die qualitative Forschung geben, sondern mitunter auch für spezifische Standards für unterschiedliche Verfahren oder Gegenstände. Deshalb sollen auch für diese Arbeit verfahrensbezogen sowohl inhaltsanalytische Gütekriterien als auch Standards in der Interpretativen Unterrichtsforschung beschrieben und ihre Anwendung in der vorliegenden Studie dargestellt werden.

6.4.1 Qualitative Inhaltsanalyse

Kuckarts schlägt dafür eine Unterscheidung zwischen „*interner Studiengüte*, d.h. Zuverlässigkeit, Verlässlichkeit, Auditierbarkeit, Regelgeleitetheit, intersubjektive Nachvollziehbarkeit, Glaubwürdigkeit etc., und *externer Studiengüte* [Hervorhebung im Original], d.h. Fragen der Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit“ (Kuckartz, 2018, S. 203) vor. Weiterhin erklärt er, dass für die qualitative Inhaltsanalyse als Auswertungsverfahren eher Kriterien interner Studiengüte formuliert werden können. Die externe Studiengüte hänge von dem gesamten Studiendesign ab. Sie soll in der vorliegenden Arbeit deshalb erst nach Darlegung aller methodischen Ansätze thematisiert werden (Kap. 6.4.3)

Bzgl. der internen Studiengüte werden für die qualitative Analyse oft eigene Gütekriterien diskutiert (Mayring, 2001, Abs. 28) wie bspw. die Qualität der Transkription (Transkriptionsregeln im Anhang A1), Theoriegeleitetheit (Kap 6.2) und die bereits erwähnte Berechnung der Intercodier-Reliabilität. Für diesen quantitativen Analyseschritt wurden die

Transkripte von beiden Codierern zunächst unabhängig voneinander qualitativ analysiert, also codiert. Anschließend wurden die codierten Transkripte beider Codierer in einem MAXQDA-Projekt zusammengeführt und über die Analysefunktion zur Prüfung der prozentualen Intercoder-Übereinstimmung (MAXQDA, 2022) vergleichend analysiert. Dafür lässt sich der Übereinstimmungskoeffizient als Prozentsatz über folgende Formel berechnen (Holsti, 1969):

$$\frac{(\text{Zahl der Kodierer}) \times (\text{Zahl der übereinstimmenden Urteile})}{(\text{Zahl aller Kodierurteile})}$$

Bei induktiver Kategorienbildung werden nicht die gleichen strengen Maßstäbe an die Intercoder-Übereinstimmung gelegt, die bei deduktiver Kategorienbildung erfüllt sein müssen (Kuckartz, 2018). Aufgrund des offenen Codierens ohne festgelegte Segmentierung – beides notwendig für den aktiven und kreativen Konstruktionsprozess – ist eine segmentgenaue Berechnung vor allem bei großen Datensätzen weder möglich noch sinnvoll.

> Als Übereinstimmung der Segmentgrenzen beim qualitativen Codieren immer genau 100% zu verlangen, erscheint kaum sinnvoll, dann wäre es bereits als Nicht-Übereinstimmung zu werten, wenn ein Codierer das Satzzeichen oder ein Leer-Zeichen am Ende noch codiert hätte und der andere aber nicht. (Kuckartz, 2018, S. 214)

Aus diesem Grund wurde Kukartz‘ Vorschlag gefolgt, eine gewisse Toleranz zu erlauben und die Segmentüberlappung auf 80% festgelegt. Dies bedeutet, dass für die Berechnung eine Übereinstimmung dann gewertet wird, wenn 80% des Segmentes sich überlappen. Dies soll an einem Transkriptauszug (Abb. 32 und Abb. 33) verdeutlicht werden: Hier hat Codierer1 für die K10 (Begriffsverständnis) die Äußerungen von Paula jeweils als ein eigenständiges Segment codiert, um die Äußerung der Lehrkraft nicht auch als Begriffsverständnis der Schülerin zu markieren.

.K8a Bezug zu Erklärungen aus dem Beitr ..K10 Begriffsverständnis K6a Bezug zu Repräsentanten aus dem Beitrag ..K9 Verwendung von Fachsprache ..K10 Begriffsverständnis	91 92	03:49	Paula	Ä h **Qua**der . und . ä äh qua ä nein . warte **Quadrat** u n d Rechteck- und
	93 94	03:59	Gruber	Genau s sind schonmal zwei\ was hast% du davor zu Quader gesagt/ was ist denn ein Quader/
	95	04:04	Paula	s is ne Form\

Abbildung 32: MAXQDA-Auszug aus der Projektdatei ‚Vierecke‘ codiert von Codierer1

Codierer 2 hingegen hat die Aussagen beide zusammen – inklusive der Zwischenbemerkung der Lehrkraft – als ein Segment codiert. Diese Vorgehensweise ist begründet in Kukartz‘ o.g. Hinweis, die Segmente möglichst großflächig zu codieren, um zu gewährleisten, dass codierte Einheiten auch bei Text-Retrieval noch verständlich sind.



91 92	03:49	Paula	Ä h **Qua**der . und . ä äh qua ä nein . warte **Quadrat** u n d Rechteck- und
93 94	03:59	Gruber	Genau s sind schonmal zwei\ was hast% du davor zu Quader gesagt/ was ist denn ein Quader/
95	04:04	Paula	s is ne Form\

Abbildung 33: MAXQDA-Auszug aus der Projektdatei ‚Vierecke' codiert von Codierer2

Bei einer Segmentüberlappung von 100% wäre diese Codierung also keine Übereinstimmung gewesen, obwohl beide Äußerungen von Paula jeweils gleich codiert wurden. Eine Toleranz bzgl. der Segmentgrenzen kann die Intercoder-Übereinstimmung in diesem Fall also treffender abbilden. Durch die Festsetzung der minimalen Segmentüberlappung auf 80% wurde für die Intercoder-Übereinstimmung für beide untersuchten Lernumgebungen ein annehmbarer Wert von 80-95% erreicht. Eine zusätzliche Berechnung eines zufallsbereinigten Koeffizienten (z.B. Kappa) macht nach Kuckartz (2018, S. 216f.) nur dann Sinn, wenn es vorab festgelegte Codiereinheiten gibt, und wurde deshalb an dieser Stelle nicht vorgenommen. Die Kategorien, in denen die Intercoder-Übereinstimmung einen geringeren Wert aufzeigte, konnten auf diese Weise als problematische Kategorien identifiziert, ihre Definitionen im Team diskutiert und ggf. überarbeitet oder die betreffenden, strittigen Stellen durch konsensuelles Codieren (inkl. argumentativer Elemente) neu und stimmig codiert werden. Durch dieses Vorgehen konnte schnell und effektiv eine gute Übereinstimmung im Codierteam erlangt werden. Zunächst diskrepante Einschätzungen waren also keineswegs unwillkommen, sondern unterstützten durch das konsensuelle Codieren die stetige Ausdifferenzierung der Kategorien sowie die Steigerung der Intercoder-Reliabilität.

6.4.2 Interaktionsanalyse

Auch im Rahmen der Interpretativen Unterrichtsforschung gibt es Standards für die Qualität der Durchführung und die Güte der Auswertungen von Interaktionsanalysen, die für diese Arbeit herangezogen wurden. Im Rahmen der Durchführung müssen Transkriptionsregeln (Anhang A1) aufgestellt und einheitlich beachtet werden, wie bereits in Kapitel 6.3.2 dargestellt wurde. Im Rahmen der Hypothesengenerierung sind zwei methodische Schritte entscheidend, um durch die Eingrenzung der Standortgebundenheit des Forschenden das Verfahren als methodisch kontrolliertes Fremdverstehen bezeichnen zu können: das Interpretieren und Diskutieren der Interpretationen in Interpretationsgruppen sowie die komparative Analyse. Interpretationssitzungen dienen nicht nur dem Erweitern der Variationsbreite von Lesarten und Perspektiven auf die Interaktionsprozesse, sondern auch der Validation gefundener

Interpretationen (Flick, 2016). Die Interaktionsanalysen zur Auswertung der vorliegenden Studie wurden deshalb im Rahmen von Forschungsseminaren, Doktorandenkolloquien und in den Interpretationssitzungen des Arbeitskreises ‚Interpretative Unterrichtsforschung' der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik in Gruppen durchgeführt. Auf diese Weise konnte die Nachvollziehbarkeit der Interpretation in einer größeren Gruppe zur Diskussion gestellt und somit validiert werden.

Im Rahmen der Hypothesengenerierung können als präskriptive Merkmale für empirisch gegründete Theoriekonstruktion – und damit als Standards interpretativer Forschung – die abduktiven Schlüsse und das methodische Prinzip der Komparation festgehalten werden. Erkenntnistheoretisch begründet durch den Pragmatismus dient die Komparation zur Entdeckung, Generalisierung und Spezifizierung empirisch fundierter Theorien (Kelle & Kluge, 2010).

> Demnach bedürfen empirisch gegründete Schlussfolgerungen nicht nur der Übereinstimmung, sondern auch der Differenz im Datenmaterial. Erst im Zuge des Vergleichs erweisen sich Daten als relevant für das gesuchte Problem, gleich ob sie eine vorläufige Hypothese affirmieren oder negieren. (Bohnsack et. al., 2011, S. 101)

Die Komparation stellt eine Methode des permanenten Vergleiches in allen Stadien und auf allen Ebenen dar. Kelle und Kluge (2010) betonen deshalb ihre Bedeutung für die Validation einer Studie und bezeichnen die Komparation als eine „notwendige Voraussetzung, um zu einer validen und methodisch kontrollierten Beschreibung und Erklärung sozialer Strukturen zu gelangen" (S. 11). Wie schon vorangehend beschrieben trägt die Komparation also dazu bei, dass Ergebnisse im Vergleich mit einem anderen empirischen Fall herausgearbeitet werden und nicht auf Grundlage subjektiver Vergleichshorizonte Forschender. Die Komparation macht die Ergebnisse also intersubjektiv nachvollziehbar und überprüfbar und dient damit der Erhöhung der Validität einer Fallanalyse (Bohnsack, 2010).

6.4.3 Gültigkeit der Untersuchung

Anschließend an das zu Beginn dieses Kapitels beschriebenen Verständnisses von qualitativer als erkenntnisgenerierender Forschung, die gegenstandsangemessen vorgeht (Kap. 6.1.2), wird also auch die externe Studiengüte bzw. „die Bestimmung der Gültigkeit der Untersuchung – hier wieder unter Bezug auf den Gegenstand – vorgenommen und folgt nicht ausschließlich abstrakten Kriterien der Wissenschaft" (Flick, 2016, S. 27f.), wie es in quantitativer Forschung der Fall ist. Flick (2016, S. 28) führt dazu vier wichtige Kriterien bzgl. der Gültigkeit einer

Untersuchung auf, die im Folgenden mit Bezug auf ihre Anwendung in der vorliegenden Studie dargestellt werden:

- *Die Begründung von Erkenntnissen im empirischen Material*: Sowohl im Analyseschritt 1 (qualitative Inhaltsanalyse) als auch im Analyseschritt 2 (Interaktionsanalyse) werden die Erkenntnisse direkt aus dem empirischen Material abgeleitet und mit diesem begründet.
- *Die Verwendung von dem untersuchten Gegenstand angemessenen Methoden*: Die verwendeten Methoden wurden sorgfältig und angemessen im Hinblick auf den untersuchten Gegenstand ausgewählt und in ihrer Kombination angepasst (Kap. 6.2).
- *Die Relevanz des Gefundenen:* Das Gefundene zeugt – wie später dargestellt werden soll – sowohl von forschungstheoretischer als auch unterrichtspraktischer Relevanz (Kap. 9.2 und 9.3).
- *Die Reflexivität des Vorgehens:* Durch die transparente Darstellung der methodologischen Überlegungen in dem vorliegenden Kapitel, die Darstellung des methodischen Vorgehens sowie die Methodendiskussion ist die Nachvollziehbarkeit und Reflexivität des Vorgehens gesichert.

Für die in dieser Arbeit vorgestellte Untersuchung mit ihrem zweischrittigen Auswertungsverfahren kann aufgrund der Erfüllung aller vier von Flick (2016) aufgeführten Kriterien die Gültigkeit der Untersuchung festgehalten werden.

7. Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse

Ziel und Ergebnis jeder qualitativen Inhaltsanalyse ist es, „ein System an Kategorien zu einem bestimmten Thema, verbunden mit konkreten Textpassagen“ (Mayring, 2015, S. 87) zu entwickeln, mit dem das Material qualitativ beschrieben und interpretiert werden kann. Es können jedoch auch quantitative Analyseschritte angefügt werden (Mayring, 2015). Im Fokus der vorliegenden Studie liegt die qualitative Auswertung, die nachfolgend ausführlich beschrieben werden soll (Kap. 7.1). Da auch einige quantitative Analyseschritte herangezogen wurden, sollen anschließend auch diese beschrieben werden (Kap. 7.2).

7.1 Qualitative Auswertung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sind über 20 Stunden Videomaterial entstanden, die wie in Kapitel 6.3.2 beschrieben transkribiert und für die Auswertung in MAXQDA (2022) vorbereitet wurden. Von diesem Material soll keine Zusammenfassung vorgenommen werden, sondern es sollen bestimmte Aspekte herausgearbeitet werden, die als eine Art „Inventar“ (Bortz & Döring, 2006, S. 381) einen ersten Überblick über den Untersuchungsgegenstand vermitteln und dabei die von der Fragestellung der Forschungsfrage F2 vorgegeben sind:

> F2: Welche Aspekte mathematischen-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden?

Bei der Auswertung sollten bewusst zwei Richtungen, das mathematisch-konzeptuelle und das fachsprachliche Lernen, in den Blick genommen werden, um „der Dualität von fachlich mathematischem und sprachlichem Lernen gerecht werden zu können“ (Pöhler, 2018, S. 3). Dass mathematisches und sprachliches Lernen, wie in Kap 4 beschrieben, eng miteinander verbunden sind, spiegelt sich auch im entwickelten Kategoriensystem wider. Einige Kategorien lassen sich den Hauptkategorien nicht ganz trennscharf zuordnen. In diesen Fällen erfolgte die Subsumption, wie in Kapitel 6.3.3 beschrieben, geleitet durch die übergeordnete Fragestellung (Flick, 2016). Nachfolgend soll die vorgenommene induktive Kategorienbildung beschrieben sowie das entwickelte Kategoriensystem vorgestellt werden.

7.1.1 Induktive Kategorienbildung

Laut Mayring (2015, S. 88) deutet eine ‚Welche-Fragestellung“ immer auf induktive Kategorienbildung hin. Um diese vorzunehmen, wurden wie in Kapitel 6.3.3 beschrieben die Kategoriendefinition, das Abstraktionsniveau sowie die Analyseeinheiten festgelegt. Diese Regeln beachtend wurde dann von zwei Codierenden jeweils das gesamte Material codiert.

Zwischen den Codier-Sessions gab es immer wieder gemeinsame Reflexionssitzungen, in denen die dabei induktiv gewonnenen Kategorien miteinander verglichen und überarbeitet wurden. Auch Expert:innen aus Fachdidaktik und Schulforschung wurden hierbei zu Rate gezogen. In einem ersten offenen Codieren konnten zusätzlich zu den oben genannten gesuchten Aspekten auch Aspekte mediendidaktischen Lernens identifiziert werden, weshalb diese Aspekte in einem zweiten Codier-Durchgang durchgängig mitcodiert wurden. Auf diese Weise konnten 12 Kategorien identifiziert und mit Definitionen sowie Ankerbeispielen beschrieben werden – wie hier beispielhaft für Kategorie K1 abgebildet werden soll (Abb. 34). Eine detaillierte Darstellung der Kategorien folgt in Kapitel 7.1.2.

Code	Kategorie	Beschreibung	Beispiel
K 1	Vorstellungsbilder und mentale Modelle	Beschreibung von Vorstellungsbildern und -handlungen sowie kopfgeometrische (Lösungs-) Prozesse (gedankliches Bearbeiten und Bewegen); Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle	„weil wenn mans . wenn .. wenn man das Quadrat langzieht ähm sieht das genauso aus wie das Rechteck\“ (TV_2Z_4K_4S, Z. 791-792)

Abbildung 34: Auszug aus dem Kategoriensystem (Anhang A3)

Im nächsten Auswertungsschritt konnten drei (auf einem höheren Abstraktionsniveau liegende) Hauptkategorien gebildet und die gefundenen Kategorien darunter subsumiert werden (Mayring, 2015). Die Hauptkategorien wurden hauptsächlich induktiv bestimmt. Beispielsweise wurde den zusätzlich identifizierten Aspekten mediendidaktischen Lernens im dritten Codier-Durchgang eine eigene Hauptkategorie zugestanden (HK3). Auch HK1 und HK2 bildeten sich aus dem Material heraus, wenngleich auch unter Einbezug einzelner theoretischer Erwägungen wie der eingangs erwähnten „Dualität von fachlich mathematischem und sprachlichem Lernen“ (Pöhler, 2018, S. 3). Durch das Bilden von Hauptkategorien und die Zuordnung von Kategorien zu ebendiesen konnte ein Kategoriensystem induktiv und ausgerichtet an der Forschungsfrage entwickelt werden. Die Entwicklung dieses Kategoriensystems führte dabei zur Herausbildung der gesuchten Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens sowie den zusätzlich identifizierten mediendidaktische Aspekten. Die Forschungsfrage F2 kann also ganz grob mit den folgenden drei Hauptkategorien beantwortet werden:

- *HK1 Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens:* Kategorien, in denen verschiedene Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens beschrieben werden wie z.B. Vorstellungsbilder und mentale Modelle (K1) oder Transferleistung (K5).

- *HK2 Aspekte fachsprachlichen Lernens:* Kategorien, die dem Bereich fachsprachlichen Lernens zugeordnet werden können wie z.B. Scaffolding (K9) oder Verwendung von Fachsprache (K9).
- *HK3 Mediendidaktische Aspekte:* Kategorien, mit denen mediendidaktische Aspekte beschrieben werden wie die Medienkompetenz (K11) und das Hörverstehen in Bezug auf das auditive Medium (K12) im Sinne der Verarbeitung von durch das auditive Medium vermittelter Information.

Wenngleich HK3 nicht direkt mit der Forschungsfrage F2 verknüpft scheint, ist sie doch für die übergeordnete Fragestellung von Interesse, da sie das Forschungsfeld digitaler Medien im Mathematikunterricht bedient, in welchem sich die Studie verortet. Außerdem ist insbesondere K12 stark mit sprachlichem und mathematischem Lernen verbunden, wie die Codelandkarten zeigten (ausführlichr in Kap. 7.2). Aus diesem Grund soll auch K12 zur Beantwortung der Forschungsfrage F3 herangezogen werden.

7.1.2 Darstellung des Kategoriensystems

Im Folgenden sollen das in der vorliegenden Analyse entstandene Kategoriensystem und seine induktiv gewonnenen Kategorien detailliert und mit Beispielen (d.h. konkreten Textpassagen) illustriert, beschrieben und interpretiert werden. Das komplette Kategoriensystem ist im Anhang (A3) zu finden. An dieser Stelle soll zuerst anhand einer vereinfachten Darstellung (Abb. 35) die Struktur des entwickelten Kategoriensystems dargestellt werden

Hauptkategorie	**Code**	**Kategorie**
HK 1 Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens	K 1	Vorstellungsbilder und mentale Modelle
	K 2	Wissensbasis (deklaratives & prozedurales mathematisches Wissen)
	K 3	Heurismen
	K 4	Mathematische Handlungen & Realitätserfahrungen
	K 5	Transferleistung (Abduktive Schlussweise)
	K 6a	Bezug zu Repräsentanten aus dem auditiven Medium
	K 6b	Eigene Repräsentanten
HK2 Aspekte fachsprachlichen Lernens	K 7a	Scaffolding durch das auditive Medium
	K 7b	Scaffolding durch die Lehrkraft
	K 8a	Bezug zu Erklärungen aus dem Beitrag
	K 8b	Eigene Erklärungen und Definitionen
	K 9	Verwendung von Fachsprache
	K 10	Begriffsverständnis
HK3 Mediendidaktische Aspekte	K 11	Medienkompetenz
	K 12	Hörverstehen (in Bezug auf das auditive Medium)

Abbildung 35: Induktiv entwickeltes Kategoriensystem

Das Kategoriensystem besteht wie schon erwähnt aus drei Hauptkategorien. Diese Hauptkategorien geben einen Überblick darüber, welche Aspekte des Lernens beim Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe beobachtet werden können. Daraus lassen sich zwei Erkenntnisse/ Schlussfolgerungen ableiten:

- *Unterrichtspraktisch:* Auditive Medien können drei verschiedenen Bereichen des Lernens dienen: dem Aufbau mathematisch-konzeptuellen Wissens (HK1), der fachspezifischen Sprachbildung (HK2) und der Förderung von Medienkompetenz (HK3). Die codierten Segmente und gewonnenen Kategorien zu HK1 zeigen an, dass in einem Unterricht, der durch den Einsatz auditiver Medien gekennzeichnet ist, bspw. die Konstruktion von Vorstellungsbildern (K1) oder Transferleistungen (K5) zu beobachten sind. In HK2 werden diese Erkenntnisse ergänzt durch die Verortung von Scaffolding durch den Beitrag (K7a), durch Bezüge zu Erklärungen der Sendungen (K8a) sowie eigene Erklärungsversuche (K8b) und Begriffsbildungsprozesse (K10). Durch HK3 werden weiterhin Bereiche mediendidaktischen Lernens ergänzt. Wie genau die Lernprozesse in den beobachteten Kategorien vonstatten gehen, wird in der Detailanalyse (Kap. 8.2 und 8.3) genauer untersucht.
- *Forschungstheoretisch:* Der Einsatz auditiver Medien lässt sich aus drei verschiedenen Perspektiven betrachten: aus einer mathematikdidaktischen, einer sprachlichen sowie einer mediendidaktischen Perspektive. Anhand des Kategoriensystems können nun die empirischen Daten für die Untersuchung der jeweiligen Perspektiven aufbereitet werden. Beispielsweise können für eine Analyse der Potenziale im Bereich der fachbezogenen Sprachbildung interaktionsreiche Passagen aus den Kategorien der HK2 aus den Transkripten herausgefiltert und für die Detailanalyse genutzt werden (Kap. 8.1).

Nachdem die hierarchische Struktur des Kategoriensystems dargestellt und interpretiert bzw. Schlussfolgerungen abgeleitet wurden, sollen nun die induktiv gewonnenen Kategorien tiefergehend betrachtet und dazu detailliert und mit Beispielen (d.h. konkreten Textpassagen) illustriert beschrieben werden. Dazu werden nacheinander die drei Hauptkategorien in den Blick genommen und die zugehörigen Ausschnitte des Kategoriensystems dargestellt.

HK 1: Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens

Die Hauptkategorie HK1 umfasst alle Kategorien, die als Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens subsummiert werden konnten (Abb. 36). Diese Kategorien sollen im Folgenden beschrieben und mit Textpassagen illustriert werden.

- *K1 Vorstellungsbilder und mentale Modelle:* Als K1 wurden alle Passagen codiert, in denen die Beschreibung von Vorstellungsbildern und -handlungen sowie kopfgeometrische (Lösungs-) Prozesse ausgemacht werden konnten. In der Äußerung, die als Ankerbeispiel genutzt wurde („weil wenn mans . wenn .. wenn man das Quadrat langzieht ähm sieht das genauso aus wie das Rechteck\"; TV_2Z_4K_4S, Z. 791-792) zeigt sich, das gedankliche Bearbeiten und Bewegen des mentalen Modells eines Quadrates. Neben der Konstruktion und dem Bearbeiten mentaler Modelle, wurden hier auch ihre Visualisierungen mitcodiert. Auffällig ist, dass diese Kategorie vor allem in den empirischen Daten der Lernumgebung zur Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* vorkommt. Das mag zum einen an dem geometrischen Inhalt der Sendung liegen, zum anderen wurde hier in einer Audiosequenz auch eine kopfgeometrische Aufgabe (das Falten des Quadrates) eingeleitet (Weber, 2007).
- *K2 Wissensbasis (deklaratives und prozedurales mathematisches Wissen):* Als K2 wurden alle Passagen codiert, in denen statisches Wissen über mathematische Fakten oder Konzepte sowie Wissen über Algorithmen und Verfahren (hier auch das Wissen über die Regeln der Zufallsexperimente) beschrieben oder durch Verknüpfung und Anwendung genutzt wird – unabhängig davon, ob es sich um Vorwissen oder in der Lernumgebung erworbenes Wissen handelt. Da die Wissenseinheiten deklarativen Wissens konzeptuell verbunden und organisiert sind, spricht man hier von konzeptuellem Wissen, welches wiederum als vielfach vernetztes Begriffswissen bezeichnet wird und sowohl verbalisiert als auch implizit vorliegen kann (Anderson, 2013). Hier zeigt sich erneut die eingangs beschriebene „Dualität von fachlich mathematischem und sprachlichem Lernen" (Pöhler, 2018, S. 3). Begriffsbildung geht mit konzeptuellem Lernen einher. Um im Sinne der Forschungsfrage die verschiedenen Perspektiven untersuchen zu können, wurde diese Kategorie also in Abgrenzung der Kategorie K10 (Begriffsverständnis) codiert. In diesem Sinne ist die Doppelcodierung von Äußerungen mit beiden Kategorien möglich. Auf diese Weise können in späteren Analyseschritten beide Perspektiven untersucht werden.

Abbildung 36: Ausschnitt aus dem Kategoriensystem (Hauptkategorie HK1)

Hauptkategorie	Code	Kategorie	Beschreibung	Beispiel
HK 1 Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens	K 1	Vorstellungsbilder und mentale Modelle	Beschreibung von Vorstellungsbildern und -handlungen sowie kopfgeometrische (Lösungs-) Prozesse (gedankliches Bearbeiten und Bewegen); Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle	„weil wenn mans . wenn .. wenn man das Quadrat langzieht ähm sieht das genauso aus wie das Rechteck\“ (TV_2Z_4K_4S, Z.791-792)
	K 2	Wissensbasis (deklaratives & prozedurales mathematisches Wissen)	Beschreibung oder Nutzung von - statischem Wissen über (mathematische) Fakten, Konzepte und Prinzipien. - Verfahren, Algorithmen und Prozeduren zur Konstruktion (hier auch das Wissen über die Regeln der Zufallsexperimente) - Verknüpfung und Anwendung von (deklarativem) Wissen. (in Abgrenzung zu K10b)	„und dann ä h w e r den halt der Drachen wird so aufgebaut dass nachdem man die Holzstäbe **aufeinander** gesetzt hat . dass dann die **Ecken** verbunden werden“ (TV_2Z_4K_3S, Z.-4345)
	K 3	Heurismen	Nutzung von Heurismen & Suchstrategien (Rott, 2018) bzw. Forschermitteln & Forscherstrategien (Selter & Zannetin, 2018) - Heuristische Hilfsmittel (z.B. Ordnungsmaßnahmen wie Tabellen, Hilfslinien, Farben & Pfeile) - Suchstrategien (z.B. Muster suchen oder bereits gefundene Ergebnisse nutzen)	„ja wir ham . ä h h u und noch dass er eine Symmetrieachse hat- die ham wir hier rot eingezeichnet“ (TV_2Z_4K_3S, Z.33-35)
	K 3	Mathematische Handlungen & Realitätserfahrungen	Ausführen von oder Bezug zu eigenen mathematischen Handlungen, geometrischen Tätigkeiten, Experimenten sowie deren Ergebnissen. Schließt auch Diagrammatisches Denken (Dörfler, 2006) mit ein.	„und wir haben rausgekriegt dass man viel mehr halt- im Bereich der **Zehn** würfelt weil man halt zwei Würfel hat\“ (TF_2Z_4K_5S, Z.121-123)
	K 5	Transferleistung	Übertragen von Erkenntnissen und Schlussfolgerungen auf andere Beispiele / Kontexte (low level Transfer); Zusammenhänge herstellen, Vernetzen von Begriffen und Erkenntnissen (high level transfer)	„und ä h m die hat jetzt keinen rechten Winkel aber wenn mans . so macht wie eben dann hätte man vier rechte Winkel\“ (TV_2Z_4K_4S, Z.277-279)
	K 6a	Bezug zu Repräsentanten aus dem auditiven Medium	Nur mathematisch-inhaltliche Repräsentanten und Beispiele; nicht in Bezug auf die Rahmengeschichte (in Abgrenzung zu K12)	„die Straße und das ist eins zwei oder drei vier“ (TF_1Z_4K_1S; Z. 176)
	K 6b	Eigene Repräsentanten	Nennen eigener Beispiele & Repräsentanten sowie Rückbezug zu eigenen Beispielen (bzw. denen der eigenen Gruppe) und zu Beispielen von Mitschüler:innnen/ anderen Gruppen (in Abgrenzung zu K6a)	„also also das Karo von dem ä h m Spielkarten von Spielkarten\“ (TV_2Z_4K_1S, Z.277-278)

- *K3 Heurismen:* Zu dieser Kategorie wurden alle Passagen codiert, in denen Heurismen und Suchstrategien (Rott, 2018) bzw. Forschermittel & Forscherstrategien (Selter & Zannetin, 2018) genutzt wurden. In der Lernumgebung zur Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* wurde hier vor allem das Hilfsmittel Tabelle als ‚Ordnungsmaßnahme' und ‚Strukturierungshilfe' verwendet, da dies von den Protagonist:innen der Sendung eingeführt wurde. In der Lernumgebung zur Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* wurde bei der Untersuchung der verschiedenen Vierecke viel mit Farben und Hilfslinien gearbeitet („ja wir ham . ä h h u und noch dass er eine Symmetrieachse hat- die ham wir hier rot eingezeichnet"; TV_2Z_4K_3S, Z. 33-35).
- *K3 Mathematische Handlungen & Realitätserfahrungen:* Zu dieser Kategorie wurden Passagen codiert, in denen das Ausführen von eigenen mathematischen Handlungen, geometrischen Tätigkeiten, Experimenten sowie deren Ergebnisse ausgemacht werden konnte sowie der Rückbezug zu ebendiesen. Die mathematischen Handlungen schließen hier auch das diagrammatische Denken im Sinne Dörflers (2006) mit ein, mit dem die Konstruktion und das Untersuchen von Diagrammen als "Forschungsobjekte" (S.211) beschrieben wird. Beispielsweise konnten durch das Erproben verschiedener Zufallsexperimente, eigene Vermutungen aufgestellt und überprüft sowie Erkenntnisse gewonnen werden („und wir haben rausgekriegt dass man viel mehr halt- im Bereich der Zehn würfelt weil man halt zwei Würfel hat\"; TF_2Z_4K_5S, Z. 121-123)
- *K5 Transferleistung:* Mit dieser Kategorie wurden Passagen codiert, in denen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen auf andere Beispiele oder Kontexte übertragen wurden (low level Transfer) sowie Passagen, in denen Zusammenhänge hergestellt oder Begriffe und Erkenntnisse vernetzt wurden (high level transfer). Beim Begründen der Erkenntnisse kommt auch die prozessbezogene Kompetenz ‚mathematisch Argumentieren' (Kultusministerkonferenz, 2022b) zum Tragen. Diese Kategorie wurde vor allem zum Ende der Unterrichtseinheit hin codiert, da nach der Erarbeitung der Inhalte Transferaufgaben im Sinne sachbezogenen Transfers (Maier & Schweiger, 1999) bearbeitet werden sollten.
- *K6a Bezug zu Repräsentanten aus dem auditiven Medium:* Zu dieser Kategorie wurden Passagen codiert, in denen mathematisch-inhaltliche Repräsentanten und Beispiele genannt wurden. Ausgeschlossen wurden hierbei Beispiele, die sich auf die Rahmengeschichte beziehen, um eine Abgrenzung zu K12 zu gewährleisten. Beispielsweise wurden von den Schüler:innen als Repräsentanten für die Ereignisse Pasch und Straße mehrfach dieselben Würfelkombinationen genannt wie in der Audiosequenz (z.B. TF_1Z_4K_1S; Z. 176).

- *K6b Eigene Repräsentanten:* In Abgrenzung zu K6a beinhaltet diese Kategorie Passagen, in denen eigene Beispiele und Repräsentanten von den Schüler:innen genannt werden sowie Passagen, in denen ein Rückbezug auf ebendiese stattfindet. Auf diese Weise können in späteren Analysen aus dem auditiven Medium übernommene und selbstständig generierte Repräsentanten differenziert betrachtet werden.

HK 2: Aspekte fachsprachlichen Lernens

Die Hauptkategorie HK2 umfasst alle Kategorien, die als Aspekte fachsprachlichen Lernens subsummiert werden konnten (Anhang A3). Auch diese Kategorien sollen im Folgenden beschrieben und mit Textpassagen illustriert werden:

- *K7a Scaffolding durch das auditive Medium:* Dieser Kategorie wurden zum einen Passagen zugeordnet, in denen Audio-Sequenzen abgespielt wurden, und zum anderen Passagen, in denen Begriffe oder Phrasen aus dem Beitrag übernommen wurden. Beispielsweise wurde von den Schüler:innen mehrfach der Ausdruck übernommen, dass das Haus der Vierecke darstellen soll „wie die miteinander verwandt sind\“ (TV_2Z_4K_1S, Z. 217-218). Diese Äußerung ist fast identisch mit dem Wortlaut in der Audio-Sequenz (TV_2Z_4K_1S, Z. 205-211), sodass hier von Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002) durch das auditive Medium gesprochen werden kann. Die sprachliche Metapher der Verwandtschaft dient den Schüler:innen als sprachliches Gerüst, welches ihnen hilft das Konzept einer Begriffshierarchie zu beschreiben.
- *K7b Scaffolding durch die Lehrkraft:* In Abgrenzung zu K7a finden sich in dieser Kategorie Passagen, in denen die Lehrkraft Mikro-Scaffolding praktiziert sowie Passagen, in denen Begriffe oder Phrasen der Lehrkraft übernommen werden.
- *K8a Bezug zu Erklärungen aus dem auditiven Medium:* Als K8a wurden alle Passagen codiert, in denen Sachverhalte, Definitionen etc. aus den auditiven Medien wiedergegeben werden. Im Ankerbeispiel wurde beispielsweise die Erklärung übernommen, dass das Quadrat ganz oben im Haus der Vierecke wohnt, da es als das Viereck mit den meisten Eigenschaften „die Königin“ der Vierecke und somit ganz besonders ist (TV_2Z_4K_4S, Z. 190)
- *K8b Eigene Erklärungen und Definitionen:* In Abgrenzung zu K8a wurden zu dieser Kategorie alle Passagen codiert, die eigene Erklärungen oder Erklärungsversuche sowie Rückbezüge zu eigenen Erklärungen enthalten. Wie bereits beschrieben, enthalten auch die beiden K8-Kategorien sowohl Aspekte sprachlichen als auch mathematischen Lernens.

Erklärungen können z.B. durch das Nennen eines Beispiels oder das Darstellen einer Wissensbasis erfolgen. In diesem Fall wurden diese Aspekte auch mitcodiert. Um im Sinne der Fragestellung auch die (fach-)sprachliche Ebene von Erklärungen untersuchen zu können, wurden die beiden K8-Kategorien der Hauptkategorie HK2 subsummiert

- *K9 Verwendung von Fachsprache:* Mit K9 wurde jede Verwendung fachspezifischer Begriffsbezeichnungen oder Phrasen codiert – auch wenn diese ohne Satzkontext stehen, wenn beispielsweise nur mit einem Fachwort ohne vollständigen Satz auf eine Frage geantwortet wird. Da die Verwendung von Fachsprache Bestandteil fast aller der anderen gefundenen Aspekte ist, wurde sie oft mit anderen Kategorien gemeinsam codiert. Beispielsweise findet sich die Verwendung von Fachsprache in der Versprachlichung der mentalen Modelle, in Erklärungsversuchen etc. Aus diesem Grund ist diese Kategorie – wie die quantitativen Analysen (Kap. 7.2) noch zeigen sollen – überdurchschnittlich stark repräsentiert.
- *K10 Begriffsverständnis:* Zu Kategorie K10 wurden alle Passagen zugeordnet, in denen Elemente von Begriffsinhalt, -umfang, oder -netz bzw. die Anwendung des Begriffs (Weigand, 2015) ausgemacht werden konnten. An dieser Stelle kommt erneut die schon bei K2 genannte Problematik zum Tragen, dass das Begriffsverständnis auch Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens beinhaltet. Aus diesem Grund wurde beispielsweise das Nennen von Repräsentanten für einen Begriff zum einen mit K6 codiert und somit zur HK1 und den Aspekten mathematisch-konzeptuellen Lernens zugeordnet. Zum anderen wurden selbige Passagen auch mit K10 codiert, um das Sichtbarwerden von Begriffsinhalt und -umfang zu markieren und diese Passagen in späteren Analysen zur Untersuchung der Aspekte fachsprachlichen Lernens nutzen zu können.

HK 3: Mediendidaktische Aspekte

Die Hauptkategorie HK3 umfasst alle Kategorien, die als Aspekte mediendidaktischen Lernens subsummiert werden konnten (Anhang A3). Auch diese Kategorien sollen im Folgenden beschrieben und mit Textpassagen illustriert werden:

- *K11 Medienkompetenz:* Als K11 wurden alle Passagen codiert, in denen Elemente der Medienkompetenz ausgemacht werden konnten. Im Vordergrund sollten dabei zwei der von Baacke (1996) genannten Aspekte stehen: die Mediennutzung (d.h. die technische Bedienung und das bewusste Umgehen mit dem Medium) und die Medienkritik (d.h. die kritische Auseinandersetzung mit bzw. Reflektion über die

durch das Medium vermittelten Inhalte). Der zweite Aspekt überschneidet sich mit dem reflektierenden Hörverstehen, weshalb diese Stufe des Hörverstehens in der nachfolgenden Kategorie nicht mehr berücksichtigt werden soll. In Bezug auf die Mediennutzung kann durch die Analyse von Passagen diese Kategorie (z.B. „Ich hör/ nochmal die acht\ da da das du/ ganz sicher alles schreibst\"; TF_2Z_4K_PA1_NT, Z. 275-276) rekonstruiert werden, inwiefern Schüler:innen selbstbestimmt und zielgerichtet mit dem Medium arbeiten (Analyse 07).

- *K12 Hörverstehen in Bezug auf das auditive Medium:* Zu K12 wurden alle Passagen codiert, die in Abgrenzung zu K7a das Verarbeiten und Verstehen von (Hör-) Texten als Prozess der Informationsverarbeitung anzeigen. Dazu wurden vier der Stufen des Hörverstehens (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994) in den Blick genommen: das globale, das selektive, das selegierende und das detaillierte Hörverstehen. Das reflektierende Hörverstehen ist wie eben begründet in K11 beachtet. Das totale Hörverstehen kommt selbst bei Muttersprachlern kaum vor und soll deshalb hier keine Rolle spielen. Codiert wird hier zunächst allgemein das Hörverstehen. Um welche der vier genannten Stufen es sich in den jeweiligen Passagen genau handelt, kann dann in den Detailanalysen rekonstruiert werden (z.B. Analyse 01 und 02)

7.2 Quantitative Auswertung

Anhand des entwickelten Kategoriensystems und des codierten Materials, können nicht nur Passagen für die qualitative Detailanalyse ausgewählt, sondern auch quantitative Analysen angestellt werden. In Anlehnung an Mayring (2001, Abs. 11) sollen auf der technischen Ebene drei quantitative Analyse-Aspekte verfolgt werden.

1. Listen codierter Segmente

Textstellen, die gleich oder ähnlich codiert wurden, können für die Analyse einzelner Kategorien über die Funktion ‚Liste der codierten Segmente' (MAXQDA, 2022) zusammengestellt werden. Beispielhaft soll hier die Vorbereitung der Analyse von Begriffsbildungsprozessen in der Gruppenarbeitsphase von Tarik und Nora dargestellt werden. In dieser Gruppenarbeitsphase sollten die beiden Schüler:innen mithilfe von Ausschnitten der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* und einem Forscherauftrag einen Wortspeicher erarbeiten. Abbildung 37 zeigt die Zusammenstellung aller codierten Segmente für K8a (Bezug zu Erklärungen aus dem Beitrag) in dem Dokument ‚Transkript_Wortspeicher_Tarik_Nora' aus der Erhebung TF_2Z_4K (Anhang A9).



Abbildung 37: Zusammenstellung codierter Segmente für K8a (Bezug zu Erklärungen aus dem Beitrag) (Dokument: TF_2Z_4K_PA1_NT; Lernumgebung: Zufallsexperimente)

Wie auf der rechten Seite der Abbildung 37 zu erkenen ist, wurden fünf Textpassagen mit dem Code ‚K8a Bezug zu Erklärungen aus dem Beitrag' versehen und durch die Funktion in einer Liste zusammengestellt. Diese Textpassagen können nun auf einen Blick erfasst und verglichen werden. Außerdem kann für die Beachtung des situativen Kontextes in die jeweilige Stelle des Dokumentes hineingesprungen werden. Gleichermaßen lassen sich auch die codierten Passagen aller Dokumente gleichzeitig auflisten. Auf diese Weise können dann aus dieser Zusammenstellung besonders interessante oder dichte Textstellen (Krummheuer, 2004) dieser Kategorie für die Interaktionsanalyse ausgewählt werden, um zu rekonstruieren inwiefern sich die Schüler:innen auf die sprachlichen Erklärungen des auditiven Mediums beziehen.

2. Codelandkarten

Über die Funktion „Codelandkarten" (MAXQDA, 2022) kann das gemeinsame Auftreten mehrerer Codierungen in Textstellen untersucht werden. Dies ist hilfreich für die Analyse von Zusammenhängen verschiedener Codes und damit auch für die Analyse von Zusammenhängen verschiedener Kategorien sowie für die Entwicklung oder Überarbeitung des Kategoriensystems. Das Programm stellt mithilfe eines Visual Tools die analysierte Beziehung der Codes bzw. die Nähe von Codes im gleichen Dokument in einer Grafik, der Codelandkarte, dar. Abbildung 38 zeigt eine solche Codelandkarte für die Einheit zur Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* Es wurden dabei alle Transkripte der Erhebung berücksichtigt.

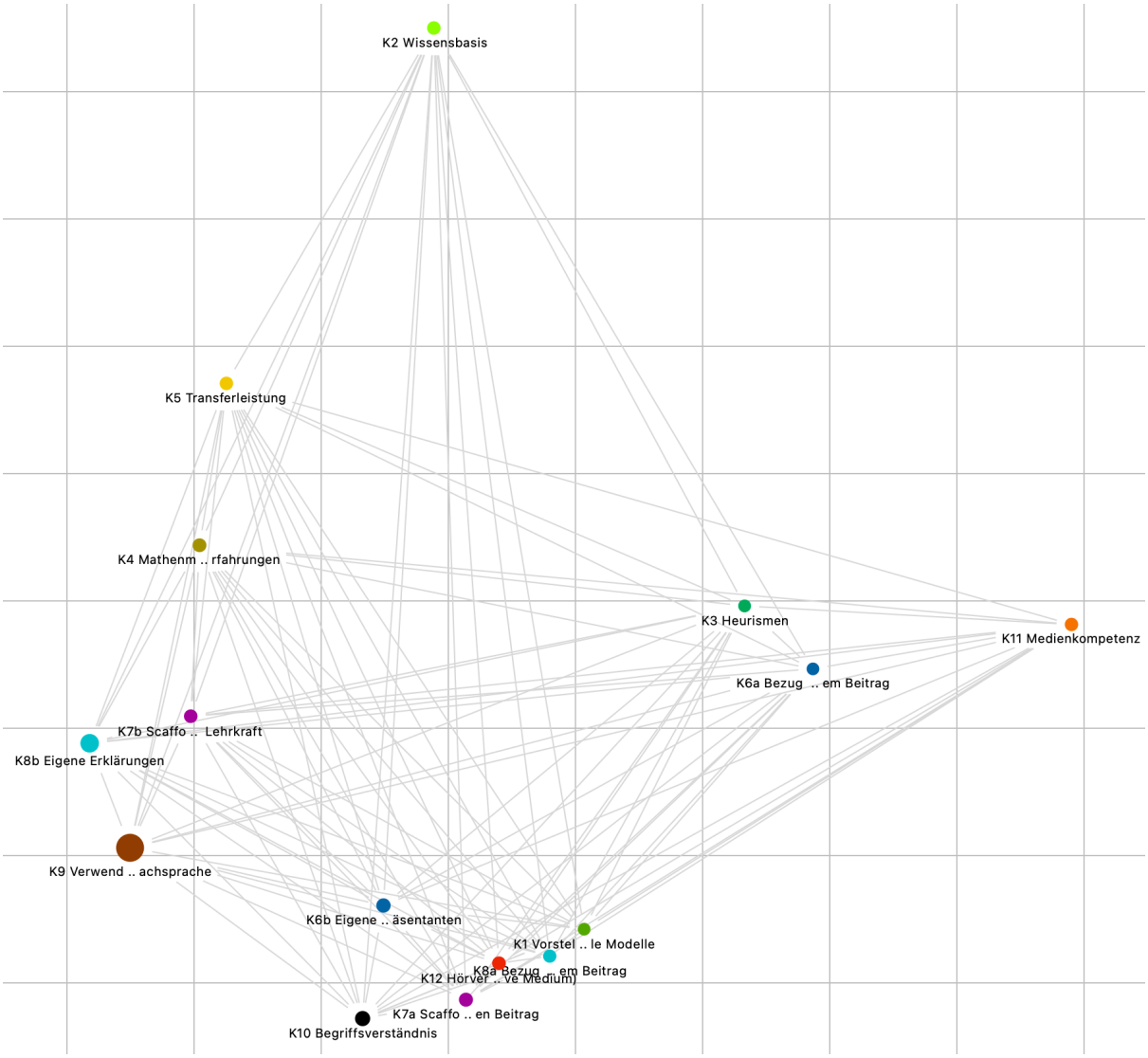


Abbildung 38: Codelandkarte (Dokument: gesamtes Material; Lernumgebung: Zufallsexperimente)

Die Darstellung zeigt, welche Codes oft gemeinsam oder unweit voneinander vorkommen. Wenig überraschend ist, dass einige der Kategorien der HK2 (Aspekte fachsprachlichen Lernens) sehr nah beieinander liegen. Sie wurden oft gemeinsam codiert, wenn – wie beispielsweise in der Äußerung von Amelie (Abb. 39, Z. 168-169) – in einer Begriffsklärung Bezug zu Erklärungen des Beitrages (K8a) genommen wird und dabei eine Anlehnung an sprachliche Vorbilder des auditiven Mediums im Sinne des Scaffoldings (K7a) und das Auftreten von bildungssprachlichen Elementen (K9) codiert werden konnte. Außerdem nimmt Amelie in dieser Äußerung zum einen Bezug auf einen Repräsentanten des Beitrages (K6a) – die Kombination „fünf sechs“ <170> als Kombinationsmöglichkeit für eine Straße – und ergänzt zum anderen einen eigenen Repräsentanten (K6b) für die Straße („vier fünf“ <169>). Aus diesem Grund konnte ebenfalls Begriffsverständnis bzgl. der Begriffe *Pasch* und *Straße* (K10) und Hörverstehen (K12) codiert werden.

	168 169 170	05:47	Amelie	also Pasch ist wenn zweimal dieselbe Zahl\ und Straße ist wenn zweimal die Zahl- also vier fünf und fünf sechs oder (unv.)
	171 172 173	05:59	L	genau\ . . und wollte der Junge das Spiel denn mitspielen/ . *(Akay, Tarik und Jannik melden sich)* Akay\

Abbildung 39: MAXQDA-Ausschnitt (Dokument: TF_2Z_4K_1S; Lernumgebung: Zufallsexperimente)

Die Äußerung von Amelie konnte also sieben Kategorien zugeordnet werden, die miteinander in Beziehung stehen. Hier wird deutlich, dass das auditive Medium gleichzeitig mathematische Inhalte vermittelt und bildungssprachliche Vorbilder als Scaffolding liefert. Werden diese durch detailliertes und sinnentnehmendes Zuhören verarbeitet (Kap. 3.3.2), können z.B. Repräsentanten der Sendung oder bildungssprachliche Elemente in Erklärungen mit aufgenommen und so Begriffsverständnis aufgebaut und verbalisiert werden. Tauchen Doppel- bzw. Mehrfachcodierungen in einer ähnlichen Konstellation häufiger auf, können diese Beziehungen über die Breite des gesamten Materials hinweg durch die „Nähe von Codes im gleichen Dokument“ (MAXQDA, 2022) quantifiziert und in Codelandkarten visualisiert werden. Auf diese Weise können Zusammenhänge wie der eben genannte herausgestellt werden. In der eingangs dargestellten Codelandkarte (Abb. 38) wird neben den engen Zusammenhängen der Kategorien von HK2 ebenfalls der enge Zusammenhang der Kategorie K12 (Hörverstehen in Bezug auf das auditive Medium) und K1 (Vorstellungsbilder und mentale Modelle) zu ebendiesen kenntlich. Ebenso wird deutlich, dass die Kategorien K2, K4 und K5 mit fast allen anderen Kategorien verbunden sind, dabei aber eine quasi übergeordnete Rolle einnehmen. Zwei mögliche Konsequenzen ergeben sich aus dieser Auswertung:

- *Entscheidungen bzgl. der Entwicklung oder Überarbeitung des Kategoriensystems:* Im vorliegenden Fall wurde beispielsweise aufgrund der Codelandkarten (und der Sichtung weiterer relevanter Textpassagen wie der obigen) bestätigt und entschieden, dass es sinnvoll ist, das Nennen von eigenen und aus dem Radiobeitrag wiedergebenden Repräsentanten sowie das Begriffsverständnis separat zu codieren – auch wenn das Nennen von Repräsentanten nach Vollrath (1984) dem Begriffsverständnis zuzuordnen ist.
- *Entscheidungen bzgl. der Schwerpunktsetzung in der Detailanalyse*: Für die ausführliche Detailanalyse sollen in der vorliegenden Arbeit im Hinblick auf die Forschungsfrage besonders interessante Kategorien sowie die mit ihnen in engem Zusammenhang stehenden herangezogen werden. Enge Zusammenhänge zeigten sich

besonders zwischen den Kategorien fachsprachlichen Lernens (HK2) und dem Hörverstehen in Bezug auf das auditive Medium (K12). Das Hörverstehen (K12) wiederum zeigte enge Verbindungen zur Konstruktion oder Visualisierung von Vorstellungsbildern und mentalen Modellen (K1) und in der Einheit zur Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* auch zu den Transferleistungen (K5). In der HK2 wurde das Scaffolding durch die Lehrkraft als Kategorie mitcodiert, um Scaffolding durch die auditiven Medien schärfer abgrenzen zu können. Das Verhalten der Lehrkraft liegt in dieser Studie jedoch nicht im Fokus, weshalb die Kategorie K7b für die Detailanalyse ausgeklammert wurde. Durch die quantitative Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse konnte die Detailanalyse also auf Sequenzen aus den Kategorien HK 2 (außer K7b), K1, K5 und K12 reduziert werden (dunkler hinterlegte Felder in Abb. 40).

Hauptkategorie	**Code**	**Kategorie**
HK 1 Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens	K 1	Vorstellungsbilder und mentale Modelle
	K 2	Wissensbasis (deklaratives & prozedurales mathematisches Wissen)
	K 3	Heurismen
	K 4	Mathematische Handlungen & Realitätserfahrungen
	K 5	Transferleistung
	K 6a	Bezug zu Repräsentanten aus dem auditiven Medium
	K 6b	Eigene Repräsentanten
HK2 Aspekte fachsprachlichen Lernens	K 7a	Scaffolding durch das auditive Medium
	K 7b	Scaffolding durch die Lehrkraft
	K 8a	Bezug zu Erklärungen aus dem Beitrag
	K 8b	Eigene Erklärungen und Definitionen
	K 9	Verwendung von Fachsprache
	K 10	Begriffsverständnis
HK3 Mediendidaktische Aspekte	K 11	Medienkompetenz
	K 12	Hörverstehen (in Bezug auf das auditive Medium)

Abbildung 40: Schwerpunktsetzung im Kategoriensystem

Auf diese Weise konnte eine Reduktion der Kategorien für die Detailanalyse vorgenommen werden, in der immer noch alle Hauptkategorien vertreten sind. Aus diesen konnten dann anschließend die Aspekte der Fokussierung entwickelt werden (Kap. 8.1).

3. Codehäufigkeiten

Bei explorativen und deskriptiven Fragestellungen lassen sich in einem offenen, induktiv orientierten Prozess – durch die induktive Kategorienbildung – einzelne Phänomene herausfiltern. Mayring (2012) vertritt die Position, dass es oft ertragreich sein kann, eine

Häufigkeitsverteilung der Kategorien darzustellen, da häufige Kategorien zentrale Phänomene des Untersuchungsgegenstandes widerspiegeln können:

> Natürlich muss man vorsichtig sein, um nicht pure Additivität zu unterstellen (doppelt häufiges Auftreten von Kategorien heißt nicht doppelte Wichtigkeit). Aber die Rangreihe der Kategorien nach Häufigkeit kann doch meist als Zentralität der Bedeutungen interpretiert werden. (S. 33)

Die vorliegende Studie stellt mit ihren unterschiedlichen Erhebungsszenarien und den Variablen ‚Inhalt' und ‚Klassenstufe' eine Studie mit Daten aus unterschiedlichen Quellen dar. Für Studien solcher Art sind dabei laut Mayring (2012) zwei quantifizierende Darstellungen von Interesse: die Codierungshäufigkeit über das gesamte Material und die Zahl der Quellen mit der jeweiligen Kategorie. Da in der vorliegenden Studie weiterhin alle Kategorien in allen Fällen vorkommen, ist hier vor allem die erste quantifizierende Darstellung von Interesse und kann durch die Funktion ‚Codehäufigkeit' bzw. ‚Codeabdeckungen im Material' (MAXQDA, 2022) als Kategorienliste mit den jeweiligen absoluten oder relativen Häufigkeiten aufgeführt und ausgewertet werden.

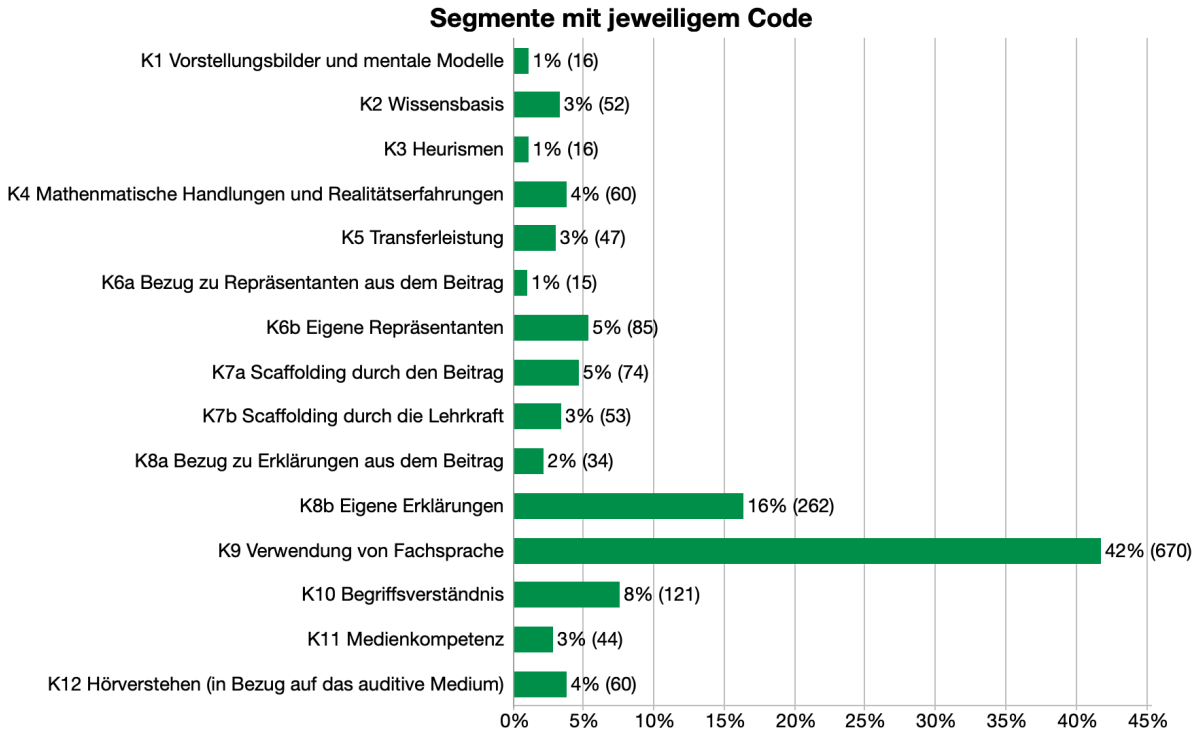


Abbildung 41: Relative Häufigkeit der codierten Segmente (Dokument: gesamtes Material; Lernumgebung: Haus der Vierecke)

Die Codehäufigkeiten sind schon während des Auswertungsprozesses hilfreich für das Präzisieren des Kategoriensystems und das Bilden der Hauptkategorien. Außerdem lassen sich die Prozentzahlen aller Personen (bzw. im vorliegenden Fall aller Einheiten), die eine Kategorie

zeigen, darstellen. In Tabellen oder Grafiken dargestellt (Abb. 41) bieten die prozentualen Verteilungen eine fundierte Grundlage für die Analyse und den Vergleich einzelner Kategorien sowie für den Fallvergleich.

Zu den in Abbildung 41 dargestellten Codehäufigkeiten lässt sich hier kritisch anmerken, dass die Kategorie K9 (Verwendung von Fachsprache) immer dann codiert wurde, wenn in einer Äußerung ein Fachbegriff verwendet wurde (auch beim Abspielen der auditiven Medien oder in Äußerungen der Lehrkraft), da jegliches Verlauten bildungssprachlicher Elemente zum fachspezifischen Sprachbad (Leisen, 2013) beiträgt. Aus diesem Grund erscheinen die anderen Kategorien hier im Verhältnis sehr viel geringer ausgeprägt. Um eine Verzerrung der Interpretation zu vermeiden, wurden die Codehäufigkeiten deshalb noch einmal ohne K9 dargestellt (Abb. 42):

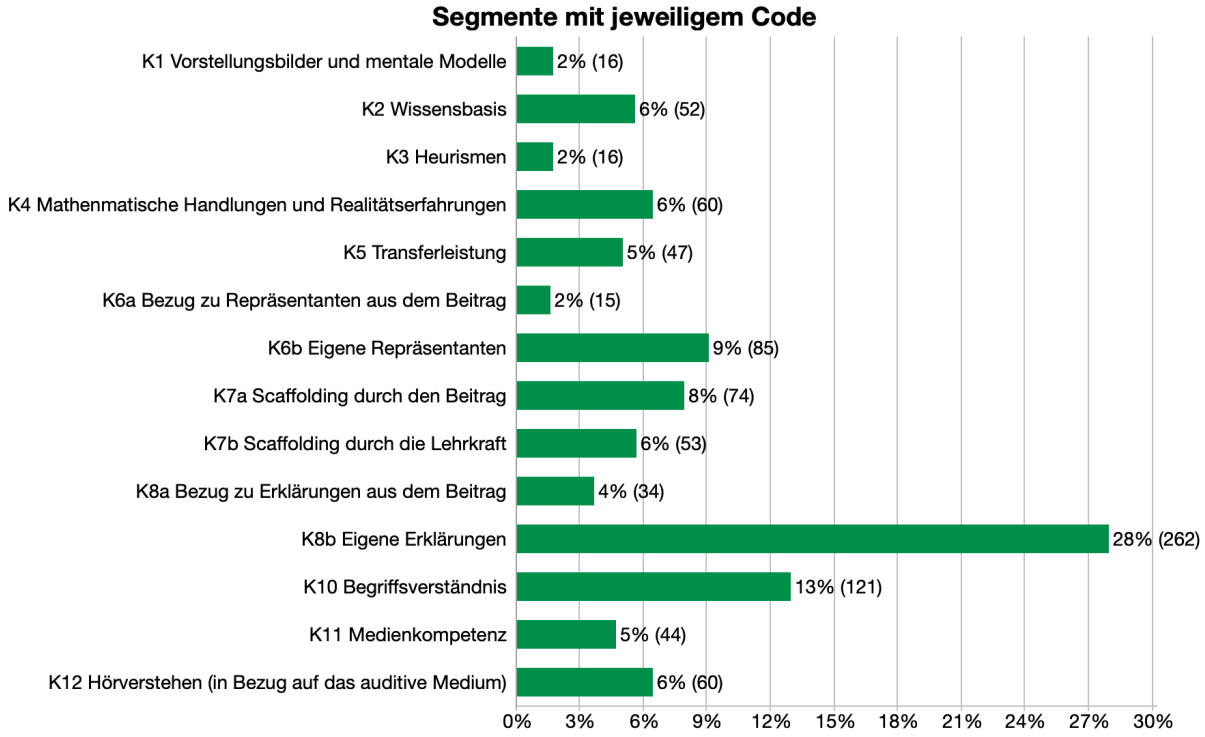


Abbildung 42: Relative Häufigkeit der codierten Segmente OHNE Kategorie K9 (Dokument: gesamtes Material; Lernumgebung: Zufallsexperimente)

Durch das Ausklammern von K9 können die Verhältnisse der anderen Kategorien besser aufgezeigt werden. Es wird deutlich, dass es in der Einheit zum Haus der Vierecke einen sehr hohen Anteil an Äußerungen gibt (ca. ein Drittel), in denen Beschreibungen von Begriffsinhalt, -umfang, oder -netz (Weigand, 2015) identifiziert wurden. Weiterhin gibt es einen hohen Anteil an eigenen Erklärungen sowie an Äußerungen, in denen Scaffolding durch den Beitrag und das Hörverstehen ausgemacht werden konnte.

Bis auf wenige Abweichungen sehen die Verteilungen der relativen Häufigkeiten für die beiden untersuchten Lernumgebungen sehr ähnlich aus. In beiden Einheiten dominieren die Kategorien der HK2 sowie die Kategorie K12, was eine weitere Untersuchung dieser Kategorien nahelegt. Größte Abweichungen lassen sich bzgl. der Kategorien K1 feststellen. Die relative Häufigkeit dieser Kategorie ist in den empirischen Daten zur Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* mit 12% signifikant höher. Dieses Ergebnis hat zur Entscheidung über die Schwerpunktsetzung in der Detailanalyse beigetragen, bei der auch K9 genauer in den Blick genommen werden soll (Kap. 8.1).

7.3 Zwischenfazit

Durch die qualitative Beschreibung der induktiv gewonnenen Kriterien sowie die quantitative Analyse der Codehäufigkeiten kann nun, die dargestellten Ergebnisse zusammenfassend, die eingangs angeführte Forschungsfrage beantwortet werden.

F2: Welche Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden geregt werden?

Es wurden zwölf verschiedene – im Kategoriensystem dargestellte (Abb. 35) und in Kapitel 7.1.2 ausführlich beschriebene – Aspekte des Lernens identifiziert, die durch die Arbeit mit den auditiven Medien angeregt werden können. Diese konnten zu drei Hauptkategorien subsummiert werden und lassen sich in zweierlei Hinsicht in unterschiedlicher Ausprägung in den Lernumgebungen finden:

- Inhaltliche Perspektive
- Unterrichtsstrukturelle Perspektive

Inhaltliche Perspektive

Je nach mathematischem Inhalt der Radiosendungen werden beispielsweise mehr oder weniger bzw. unterschiedliche heuristische Strategien verwendet (Tabellen zur Untersuchung von Kombinationsmöglichkeiten; geometrische Instrumente zur Untersuchung von Vierecken). Der Inhalt bestimmt auch die Art des Wissens, welches generiert und genutzt werden muss. Durch die Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* werden hauptsächlich Aspekte konzeptuellen Wissens vermittelt und generiert – beispielsweise statisches Wissen über (mathematische) Fakten wie die Bedingungen für die Ereignisse *Pasch* und *Straße* (MF, Z. 34-42) oder die Prinzipien von Zufall und Wahrscheinlichkeit. In der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* hingegen wurden auch Aspekte prozeduralen Wissens vermittelt wie das Beschreiben von Prozeduren

zur Konstruktion von geometrischen Formen (MV, Z. 119-130). Weiterhin geben die Inhalte sowie die Aufgabenstellungen innerhalb der Beiträge vor, inwiefern mentale Vorstellungen gefordert werden. Da bei auditiven Medien die visuelle Darstellung nicht mitgeliefert wird, müssen zu allen Inhalten eigenständig Vorstellungsbilder aufgebaut werden. Auch Vorstellungshandlungen können erforderlich werden. Diese werden beispielsweise durch den Faltauftrag im Beitrag *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* angeregt (MV, Z. 119-130) und an dieser Stelle auch im Unterricht beobachtbar (TV_2Z_4K_1S, Z. 689-904). Die Vorstellungshandlungen ziehen sich jedoch auch lange nach dem Hören der letzten Audio-Sequenz durch die Unterrichtseinheit und werden auch bei der Argumentation im Rahmen der Transferaufgaben zum Ende der Einheit hin genutzt. Dies soll in den Interaktionsanalysen vertiefend analysiert werden (Analyse 09; Analyse 10). Nicht alle auditiven Informationen erfordern jedoch Vorstellungshandlungen.

Unterrichtsstrukturelle Perspektive

Durch die Funktion ‚Dokument-Portrait' (MAXQDA, 2022) wird die Abfolge von Codierungen in einem oder mehreren Dokumenten – sehr stark vereinfacht – dargestellt (Abb. 43). Die Codes werden hier in ihren vom Programm zugeordneten Farben dargestellt:

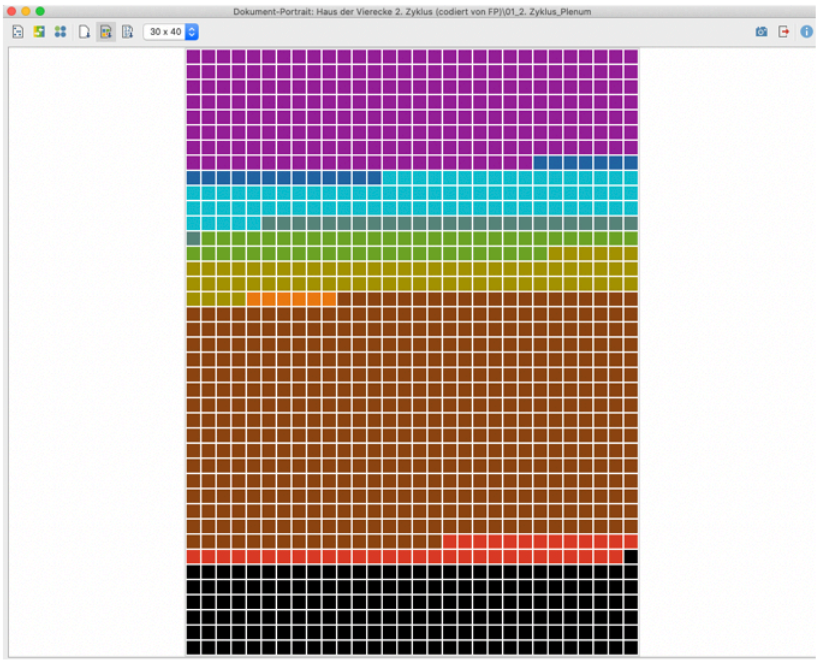


Abbildung 43: Dokument-Portrait (Einheit: Haus der Vierecke; gesamtes Material)

Mithilfe solcher Verlaufsdiagramme, sogenannter „lesson signatures" (Dalahefte & Kobarg, 2012, S. 22) kann dann das Auftreten von Unterrichtsaktivitäten im Unterrichtsverlauf beschrieben werden. Auf diese Weise kann die Beantwortung der Forschungsfrage F2 um die

Beschreibung, *wann* welche Aspekte des Lernens angeregt werden, präzisiert werden. Einen großen Anteil nehmen wie schon besprochen die bildungssprachlichen Elemente ein, die im gesamten Dokument zu finden sind. Im ersten und letzten Drittel der Unterrichtseinheit überwiegen jedoch andere Kategorien. Erkennbar wird hier beispielsweise, dass zu Beginn der Unterrichtseinheit sehr nah am Radiobeitrag gearbeitet und das auditive Medium als Scaffolding genutzt wird (lila). Es folgen Phasen des Aushandelns und des Generierens von Erklärungen und Beispielen – sowohl von eigenen als auch denen des Beitrages (hell- und dunkelblau) sowie Phasen des Konstruierens mentaler Vorstellungen (grün). Zum Ende der Einheit – lange nach der Rezeption der auditiven Medien - zeigt sich durch die Äußerungen der Lernenden, in denen Begriffswissen und -verständnis verbalisiert wird, dass Hörverstehen auf verschiedenen Stufen erfolgreich stattgefunden hat. Äußerungen, die sich eng an den sprachlichen Vorbildern der Sendung orientieren (Scaffolding), weichen Äußerungen, in denen eigenständig Begriffswissen versprachlicht wird. Die Arbeit mit dem auditiven Medium als bildungssprachlichem Vorbild hat also zu bildungssprachlicher Kommunikation befähigt und den Aufbau von Begriffswissen unterstützt. Wie tief dieses Begriffsverständnis verankert ist und welche weiteren Aspekte der Arbeit mit dem auditiven Medium sich als besondere Potenziale herausstellen, soll im zweiten Auswertungsschritt durch die Interaktionsanalyse vertiefend untersucht werden. Dazu wurden aufbauend auf der durch die quantitative Analyse herausgearbeiteten Schwerpunktsetzung in den Kategorien (Kap. 8.1) drei Aspekte der Fokussierung entwickelt und diese in den Detailanalysen besonders in den Blick genommen.

8. Auswertung der Detailanalyse

Anschließend an die deskriptive Analyse des gesamten Datenmaterials durch die Kategorienbildung sowie die quantitativen Analysen konnte ausgehend von den gefundenen Kategorien und durch das Herausfiltern spezifischer Sequenzen mithilfe des Programms MAXQDA (2022) die Detailanalyse als weiterführende Auswertung und Interpretation der Daten in Richtung der Hauptfragestellung geplant werden. Dabei war die Forschungsfrage F3 richtungsweisend:

> F3: Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisch-konzeptuelles und fachsprachliches Lernen unterstützen?

In Verbindung mit den Erkenntnissen aus der Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse sollen deshalb Aspekte zur Fokussierung des durch die Forschungsfrage vorgegebenen mathematischen und fachsprachlichen Lernens auf den Ebenen der drei identifizierten Hauptkategorien betrachtet werden und auch die Auswahl der zu analysierenden Sequenzen dementsprechend getroffen werden. Auf diese Weise kann also neben der Auswahl der zu analysierenden Interaktionseinheiten auch die Theoriegenese unterstützt werden. Ähnlich dem Vorgehen von Tiedemann (2012), ausgewählte Interaktionshandlungen an Beispielen zu analysieren, sowie ähnlich der Darstellung von „empirical snapshots“ bei Prediger und Krägeloh (2015) werden also ausgewählte Sequenzen – unter bestimmten Gesichtspunkten und mit einer fundierten Analysemethode – untersucht und können somit im Hinblick auf die Forschungsfrage entfaltet werden (Voigt, 1984; Krummheuer & Naujok, 1999).

8.1 Auswahl der zu analysierenden Sequenzen

Dabei soll für die Detailanalyse eine Auswahl von für die Forschungsfrage relevanten Stellen aus den für die Forschungsfrage relevanten Kategorien herausgefiltert werden. Diese relevanten Kategorien wurden im vorangehenden Kapitel durch die Ergebnisse der Analyse von Codehäufigkeiten und Codelandkarten im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse identifiziert (Kap. 7.2). Die Schwerpunktsetzung in der Detailanalyse wurde dabei auf Sequenzen aus den Kategorien K 1 (Vorstellungsbilder und mentale Modelle), K5 (Transferleistung), HK 2 (Aspekte fachsprachlichen Lernens; mit Ausnahme von K7b) und K 12 (Hörverstehen in Bezug auf das auditive Medium) festgelegt. Aus diesen Kategorien wurden die Aspekte zur Fokussierung entwickelt. Da K5 meist mit einer der anderen ausgewählten Kategorien gemeinsam codiert wurde, sollte sie in der Fokussierung nicht als eigener Aspekt berücksichtigt

werden, findet sich aber trotzdem in den Analysen wieder. Folgende Aspekte zur Fokussierung wurden für die Detailanalyse bestimmt:

- *Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle:* Ausgehend von der entsprechenden Kategorie (K1) zum mathematisch-konzeptuellen Lernen (HK1) werden hier ertragreiche Sequenzen analysiert, in denen Vorstellungen und Vorstellungshandlungen sichtbar geworden sind.
- *Fachbezogene Sprachbildung:* Ausgehend von den entsprechenden Kategorien zum sprachlichen Lernen (HK2) werden unter diesem Aspekt die Einführung und Verwendung von Fachbegriffen, die Zurverfügungstellung und Nutzung sprachlicher Vorbilder im Sinne von Scaffolds, Begriffsbildungsprozesse sowie Aushandlungen von Erklärungen und Argumentationen in den Blick genommen. Über K10 und K8 ist hier auch mathematisches Begriffswissen impliziert. Aufgrund der Dualität mathematischen und sprachlichen Lernens (Pöhler, 2018, S. 3) sind an dieser Stelle also, wie in Kapitel 4 schon diskutiert, auch Aspekte mathematischen Lernens eingebunden.
- *Hörverstehen:* Ausgehend von der entsprechenden Kategorie (K12) zum Lernen mit Medien (HK3) werden unter diesem Aspekt die Stufen des Hörverstehens untersucht sowie die Bearbeitung der Höraufträge insb. focused und scaffolded self-explanation. Dazu sollen auch Schülerprodukte zur Analyse der Rekonstruktion des Gehörten herangezogen werden.

Ausgehend von den Aspekten zur Fokussierung können über die Kategorien, die durch die qualitative Inhaltsanalyse generiert und codiert wurden, die zu untersuchenden Sequenzen identifiziert werden. Beispielsweise kann für den Aspekt der Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle über das Programm MAXQDA (2022) eine Zusammenschau aller gleich oder ähnlich codierten Segmente der entsprechenden Kategorie erstellt werden. Dieses „Text-Retrieval“ (Kuckartz 2018, S. 181) stellt eine kategorienbezogene Zusammenstellung von Textpassagen dar, die für die Untersuchung des zu betrachtenden Aspektes genutzt werden können. Auf diese Weise unterstützt die Software die qualitativen Analyseschritte ohne die Auswertungsarbeit zu übernehmen (Mayring, 2001, Abs. 10).

Aus dieser Zusammenstellung von Textpassagen wurden dann besonders interessante Situationen ausgewählt, die eine „interaktionale Verdichtung“ (Krummheuer, 2004, S. 117) aufweisen. Brandt (2009) definiert diese interaktive Dichte durch deutlich wechselnde Sprecher bzw. Gesprächspartnerschaften und gemeinsamen Ideenentfaltung. Im Gegensatz dazu bestehen Interaktionsprozesse in der Vermittlungsphase aus längeren Erklärungen einer

einzelnen Person. Da dieser Schritt vom Forschenden vorgenommen wird, ist Auswahl selbst schon ein interpretativer Akt (Krummheuer & Naujok, 1999). Die auf diesem Wege zur weiteren Detailanalyse ausgewählten Sequenzen sind in Anhang A2 in einer Tabelle überblicksartig dargestellt. Dort wird auch das Code-System geklärt, durch welches die analysierten Sequenzen in den Transkripten (Anhang A9) verortet werden können.

Die ausgewählten Sequenzen werden sowohl hier als auch in der Überblicks-Tabelle chronologisch nach ihren Erhebungszeitpunkten innerhalb der untersuchten Unterrichtseinheiten dargestellt, um das Verständnis unterrichtsstruktureller Aspekte zu unterstützen. Die Auswertung einer jeden Sequenz besteht aus der zusammenfassenden Interpretation, die aus der Interaktionsanalyse im Rahmen von Expert:innengruppen entstanden ist, sowie aus den darauf aufbauenden Schlussfolgerungen zu den eben erläuterten Aspekten zur Fokussierung. Eine Ausnahme bildet eine aus chronologischen Gründen eingeschobene Analyse von Schüler:innendokumenten, die keine Interaktionsanalyse darstellt, jedoch auch die entwickelten Aspekte zur Fokussierung untersucht. Die hier untersuchten Sequenzen können und sollen nicht jeweils *alle* Aspekte abbilden. Wohl aber können Sequenzen *unterschiedliche* Aspekte abbilden. Auch aus diesem Grund wurde hier die chronologische Darstellung gewählt und nicht die Zuordnung repräsentativer Sequenzen zu den einzelnen Aspekten zur Fokussierung. Es kann also offener an die Auswahl der Interaktionseinheiten herangegangen werden. Anschließend an jede zusammenfassende Interpretation folgen dementsprechend Schlussfolgerungen in Bezug auf einen oder mehrere Aspekte der Fokussierung. In der anschließenden Ergebnisdarstellung (Kap. 9.2) sollen diese Schlussfolgerungen dann dazu genutzt werden, die Potenziale auditiver Medien geordnet nach den Aspekten zur Fokussierung zu entwickeln und zu diskutieren.

8.2 Analyse der einzelnen Sequenzen – Einheit „Fairness und Zufallsexperimente“

Nachfolgend werden die Analysen fünf repräsentativer Sequenzen aus der Unterrichtseinheit zur Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* abgebildet. Dazu werden jeweils die Zusammenfassung der Interaktionsanalyse sowie die daraus resultierenden Schlussfolgerungen dargestellt.

Analyse 01: ‚Pasch und Straße‘

Zu Beginn der untersuchten Unterrichtseinheit wurde bereits das Vorwissen der Schüler:innen zu Würfel- und Glücksspielen aktiviert. Die Lerngruppe wurde außerdem darauf vorbereitet, dass in den folgenden Unterrichtsstunden mit einer Radiosendung gearbeitet wird.

Anschließend wurde ein erster Ausschnitt der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* abgespielt, in dem die kindlichen Protagonist:innen sich gegenseitig ein Glücksspiel erklären, mithilfe dessen sie eine Streitsituation lösen wollen (MF, Z5-42). An der Stelle, an der das Transkript einsetzt, wurde gerade die Erstrezeption beendet und die Lehrkraft initiiert ein Wirkungsgespräch zur Verständnissicherung:

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
140 141 142 143 144	06:53	L	So\ .. das war der erste Teil von der Geschichte .. und dann möchte ich erstmal von euch wissen was habt ihr euch denn davon behalten\ worum gehts denn/ … *(einige Schüler:innen melden sich, auch Anastasia und Marcel)* Anastasia\
145 146 147 148 149	07:07	Anastasia	Äh also . Nils und Franka sollen eben Spitzerreste aufkehren die mh da ähm eben irgendwer- . ja verloren hat\ … *(unverständliches Gemurmel eines anderen Kindes)* und da hat einer von den beiden eben ein Spiel vorgeschlagen . u n d ähm jetzt haben die sich gefragt ob das Spiel fair ist\
150 151	07:25	L	*(Marcel meldet sich weiterhin)* Richtig\ . Marcel hast Du noch was zu ergänzen/ ..
152 153	07:29	Marcel	M h m ei . mh und . der ich glaube das war der Junge der sich gefragt hat#
154	07:35	Kind	#der **Nils**#
155 156 157 158	07:36	Marcel	#das ob das fair sind- fair ist/ und als das Mädchen gesagt hat weiß ich doch nicht d a n n kann die das Spiel dann mh ist das nämlich en bisschen **gemein** dass die das Spiel überhaupt vorschlägt\#
159	07:48	Marcel	(*kichert)* < #und ich
160	07:48	L	<Ja das stimmt#
161 162 163 164	07:49	Marcel	#Und .. ich glaube ä h m .. ich versteh net wenn beide aber ne unterschiedliche Zahl zum Beispiel ne Sechs und ne ... ähm Eins . gewürfelt wird . würfeln die dann nochmal oder . hat dann der eine oder der andere gewonnen/

Nachdem die Lehrkraft die offene Frage stellt, was sich die Schüler:innen behalten haben bzw. worum es in der eben gehörten Sequenz ging <140-142>, beginnt Anastasia das Gehörte zu rekonstruieren <145-149>. Kurz und knapp gibt sie die problemhaltige Situation wieder und nennt dabei die wichtigsten Informationen, um die Streitsituation zu verstehen. Außerdem gibt sie die Grundfrage der Sendung wieder, „ob das Spiel fair ist\“ <149>. Dabei ist sie bemerkenswert nah am Wortlaut des Beitrages. Die Begriffe „Spitzerreste“ und „aufkehren“ <145-146> wurden wortwörtlich so im Beitrag verwendet, sind aber nicht unbedingt typische Begriffe aus der Alltagssprache der Schüler:innen. Marcel ergänzt, dass diese Frage von dem Jungen gestellt wird <152-155> und wird von einem anderen Kind bei der Namensfindung unterstützt <154>. Dies zeigt wie intensiv die Schüler:innen dem Beitrag zugehört haben und dass sie viele Details wiedergeben können. Auf den Stufen des Hörverstehens (Kap. 3.3.2)

können dementsprechend das selegierende und das detaillierte Hörverstehen identifiziert werden. Marcel führt fort, dass es „**gemein**“ <157> ist, dass Franka ein Spiel vorschlägt, von dem sie nicht weiß, ob es wirklich fair ist. Auch hier ist wieder detailliertes und selegierendes Hörverstehen deutlich, da Marcel noch genau weiß, wer von den Protagonist:innen das Spiel vorgeschlagen hat. Diese Beobachtungen decken sich mit Ergebnissen aus der Hörspielforschung (Ritterfeld et al, 2006). Weiterhin wird in dieser Aussage eine kritische Reflexion des Gehörten getätigt, was der Stufe reflektierendes Hörverstehen zuzuordnen ist (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994). Auch die Nachfrage zu den Spielregeln <161-164>, die Marcel seiner Bewertung der Situation anhängt, zeugt davon, dass er sehr aufmerksam zugehört, tatsächlich bestehende Lücken in der Erklärung entdeckt hat und nun versucht, die Lücken in seinem Hörverstehen durch die eingeforderte Explikation zu schließen. Auch dies entspricht dem reflektierenden Hörverstehen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
165 166 167	08:09	L	genau\ (*Kiara meldet sich)* da müssen wir gleich auch nochmal drüber sprechen wie das Spiel überhaupt dann geht\ . Kiara/
168 169	08:14	Kiara	Die hatten ja äh . auch einen Streit also die .. haben sich halt gestritten\
170 171 172 173 174	08:19	L	Richtig\ weil keiner aufkehren wollte\ .. Genau\ jetzt hat der Marcel eben schon angesprochen\ wie geht denn das Spiel eigentlich was die beiden da spielen wollen/ . Kann sich jemand daran erinnern/ .. *(Alessia und Marcel melden sich)* Alessia/
175 176 177 178	08:31	Alessia	A l s o die haben zwei Würfel . und jetzt . ähm Nils hat halt jetzt die Straße und das ist eins zwei oder drei vier *(leiser werdend)* u n d . ä h d i e a n d e r e\ .. wenn das halt unterschiedlich is . dann hat die .. gewonnen/
179 180 181 182	08:55	L	Genau also Straße . hast du schon richtig gesagt das ist w e n n die Zahlen aufeinander folgen\ .. also wenn ich zum Beispiel ne Eins und ne Zwei würfel dann hätte ich eine Straße\ . Kiara/
183 184 185	09:07	Kiara	Ähm wenn ähm wenn zum Beispiel der Nils oder/ . äh jetzt eins und zwei dann hätte er die S t r a ß e- und wenn die F r a n z i s k a a a/#
186	09:18	L	#Franka hieß sie glaube ich#
187 188	09:19	Kiara	#Franka . ähm vier und vier oder drei und drei oder sechs und sechs würfelt dann hat die n Pasch\

Unterbrochen von einer kurzen Ergänzung von Kiara, mit der die Rahmengeschichte ausdifferenziert und als Streitsituation bezeichnet wird <168-169>, leitet die Lehrkraft mit Bezug auf Marcels Einwurf zur Besprechung der Regeln des Spiels über <165-174>. Diese Aufforderung kann einen hohen Anspruch an die Schüler:innen darstellen, da die Sequenz erst

einmal gehört wurde und die Regeln des Spiels dort sehr detailliert und mit Beispielen erklärt wurden. Alessia beginnt die Spielregeln zu erklären und gibt korrekt wieder, dass mit zwei Würfeln gespielt wird, dass Nils gewinnt, wenn die Straße gewürfelt wird, und Franka, „wenn das halt unterschiedlich is“ <177-178>. Gemeint ist mit dieser Beschreibung das Ereignis *Pasch* als Gegenereignis zum Ereignis *Straße* <175-178>. Für die Straße gibt sie zwei Beispiele an <176>. Sie hat das Konzept und die Regeln also gut verstanden. Wie im Beitrag nutzt sie in ihrer Erklärung Konditionalgefüge und Beispiele, um die Ereignisse *Pasch* und *Straße* zu definieren, womit der Radiobeitrag also erfolgreich als sprachliches Vorbild im Sinne des Scaffoldings (Gibbons, 2002) genutzt wurde. Bemerkenswert ist vor allem, dass sogar die Zuteilung, wer mit welchem Ereignis gewinnt, richtig ist: ein kleines Detail, welches für die kindliche Interpretation eines Spieles jedoch von großer Bedeutung zu sein scheint und deshalb selektiv verarbeitet wurde sodass es wiedergegeben werden kann.

Die Lehrkraft bestätigt Alessias Aussage und präzisiert sie zur Ergebnissicherung sprachlich im Wortlaut des Radiobeitrages („w e n n die Zahlen aufeinander folgen“ <179-180>) , bevor sie Kiara drannimmt. Auch Kiara antwortet analog zum sprachlichen Vorbild des Beitrages mit der korrekten Definition beider Ereignisse durch Konditionalgefüge plus Beispiele. Auch sie hat also das Spielkonzept und die Unterscheidung der beiden Ereignisse verstanden <183-188>. Ihre Äußerung ist präziser als die von Alessia, da sie auch den Begriff *Pasch* nennt und ihm Beispiele zuordnen kann. Auffällig ist hier auch, dass alle der genannten Beispiele genau so im Beitrag vorkamen – also hier Gehörtes rekonstruiert und (noch) keine eigenen Beispiele generiert wurden.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201	09:26	L	Genau\ . Also das wäre zum Beispiel ein Pasch vier und vier\ *(hält die beiden Würfel – beide mit der Augenzahl 4 – zu den Schüler:innen)* … genau\ … wir brauchen heut . im Laufe . dieses Projekttages ein paar wichtige Begriffe zum Beispiel eben **Pasch** und **Straße**\ . deswegen hab ich hier . *(klappt die Tafel auf)* ein Plakat vorbereitet und dann schreiben wir uns da mal auf . damit ihr da nachher nochmal draufgucken könnt wenn ihr müsst .. was das bedeutet\ .. das heißt wir müssen jetzt mal überlegen .. wie wir uns das am besten merken können\ . was ist ein **Pasch** und was ist eine **Straße**/ damit fangen wir mal an\ .. was können wir da drauf schreiben damit wir uns das merken/ .. *(Marcel und Lea melden sich)* Lea/
202 203	10:10	Lea	*(leise)* Wir könnten vielleicht bei Pasch zwei Würfel malen wo bei beiden zum Beispiel ne Sechs drauf ist/
204 205	10:16	L	Genau- *(20 Sek.) (zeichnet auf das Plakat; Marcel, Sarah und ein anderes Mädchen melden sich)* Sarah/

206 207	10:39	Sarah	Bei Straße könnte man zeichnen man muss . zum Beispiel eine Eins und eine Zwei draufmalen\
208 209 210 211 212	10:44	L	Genau\ *(11 Sek.) (zeichnet auf das Plakat)* aber es gibt ja noch andere Möglichkeiten\ . das ist ja nicht die einzige Möglichkeit für einen Pasch oder für eine Straße\ Können wir das vielleicht irgendwie zusammenfassen- in einen Satz/ *(13 Sek.) (Anastasia meldet sich; zu Anastasia)* Ja/
213	11:18	Anastasia	Bei Pasch zwei gleiche- . Zahlen\
214 215 216	11:21	L	Genau\ zwei gleiche Zahlen- . A l s o *(schreibt auf das Plakat)* beide Würfel zeigen die gleiche Zahl *(25 Sek.)* Super\ . und bei der Straße/ .. *(Andrej meldet sich)* Andrej/
217 218	11:54	Andrej	Könnte- da könnten wir schreiben- .. ä h m . drei ä h m . also .. zwei und eins ähm gleich Straße/
219 220	12:08	L	Genau/ zum Beispiel/ . die haben wir ja schon aufgemalt\ *(unv.)*
221 222	12:12	Andrej	Zwei *(unv.) (leise)* und eins gleich Straße\ . Zwei plus eins gleich Straße\
223 224	12:18	L	Genau das wäre eine Möglichkeit für eine Straße\ . *(Lea meldet sich)* Lea/
225 226	12:21	Lea	Wir könnten vielleicht schreiben zwei Zahlen *(sehr leise)* die aufeinander folgen/
227 228 229	12:27	L	Sehr gut\ *(35 Sek.) (Lehrkraft schreibt an die Tafel)* Gut\ . dann haben wir ja eben schon drüber gesprochen die Kinder haben sich gefragt ob das Spiel **fair** ist\
227	12:27	L	Sehr gut\ *(35 Sek.) (Lehrkraft schreibt an die Tafel)*

Nachdem die Regeln des Spiels besprochen und erste Erklärungen für die aufgabenbezogenen sprachlichen Mittel (Götze, 2015) *Pasch* und *Straße* erarbeitet wurden, leitet die Lehrkraft nun die gemeinsame Erarbeitung eines Wortspeicherplakat ein <189-201> und fragt dabei explizit nach Definitionen oder Merksätzen für die beiden Ereignisse. Interessanterweise schlägt Lea vor, ein Beispiel für das Ereignis *Pasch* zwei Würfel zu „malen“ <202>, die beide die Ziffer 6 zeigen, obwohl die Lehrkraft explizit danach gefragt hat, welche Erklärung man „schreiben“ <200> könnte. Damit zeigt sich hier zum einen die selbstständige Konstruktion eines mentalen Vorstellungsbildes und zum anderen die Einforderung einer bildlichen Visualisierung des Gehörten. Die Lehrkraft geht auf die Schülerin ein und zeichnet die vorgeschlagenen Würfel auf das Plakat (Abb. 44). Anschließend wird Sarah drangenommen, die ergänzend vorschlägt, für das Ereignis *Straße* zwei Würfel mit den Ziffern 1 und 2 zu „zeichnen“ <206>. Auch sie konstruiert also wie Lea ein mentales Vorstellungsbild und fordert die bildliche Visualisierung ein. Außerdem nutzen beide Schülerinnen den Einschub „zum Beispiel“ <203; 206>. Ihnen ist also bewusst, dass ihre vorgeschlagenen Repräsentanten nicht die einzigen möglichen Darstellungen sind.

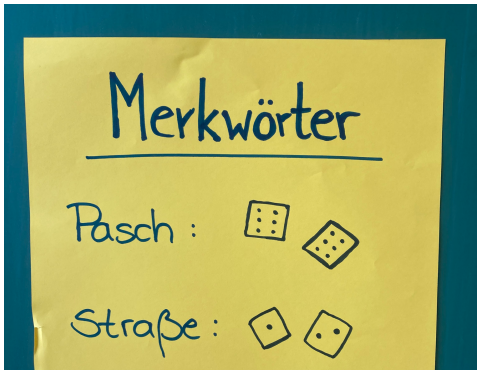


Abbildung 44: Wortspeicherplakat nach den Vorschlägen zur Visualisierung von Lea und Sarah

Nachdem die Lehrkraft auch den Vorschlag von Sarah auf dem Plakat festgehalten hat (Abb. 44), versucht sie die Lerngruppe in die Richtung einer verbalen Definition zu lenken, indem sie bemerkt, dass diese Beispiele „ja nicht die einzige Möglichkeit“ <209-210> für die beiden Ereignisse sind. Sie gibt einen wichtigen Hinweis zur Bedeutung von Definitionen: die Möglichkeit durch sprachliche Formulierungen von Regelmäßigkeiten oder Gesetzmäßigkeiten eine Reihe von Beispielen in einem Satz zusammenzufassen <210-212>. Nach einer längeren Pause des Überlegens gibt Anastasia den Versuch einer Definition: „Bei Pasch zwei gleiche- . Zahlen\“ <213>. Mit dieser Äußerung entfernt sie sich von den Beispielen und gibt die geforderte Abstraktion im Sinne einer allgemeinen Erläuterung. Interessant ist die Pause nach „zwei gleiche-“ <213>. Hier sucht Anastasia vermutlich nach dem Fachbegriff, der im Radiobeitrag verwendet wurde, denn dort hieß es „gleiche Augenzahl“ (MF, Z. 34-35). Ihre Formulierung ist trotzdem verständlich und korrekt. Die Lehrkraft macht jedoch im Sinne eines sprachlichen Korrektivs (Reber & Schönauer-Schneider, 2014) bei ihrem Anschrieb einen ganzen Satz aus der Äußerung Anastasias: „beide Würfel zeigen die gleiche Zahl“ <215>. Auf die Frage nach der verbalen Definition für das Ereignis Straße <216> schlägt Andrej zuerst vor, dass man das Beispiel „zwei und eins ähm gleich Straße/“<218> als einen Satz „schreiben“ könnte <217>. Dies ist nicht falsch, da die Lehrkraft nach dem „schreiben“ <200> gefragt hat, aber auch nicht die gewünschte Antwort, da es sich bei Andrejs Äußerung immer noch um das Nennen eines Beispiels handelt. Dies gibt die Lehrkraft Andrej zu verstehen <219-220>, der daraufhin zuerst seine Aussage wiederholt und dann minimal anpasst, indem er das „und“ durch „plus“ ersetzt <221-222>. Vermutlich versucht er hier durch das „plus“ seine Aussage zu mathematisieren, um so näher an die von der Lehrkraft geforderte Definition zu kommen, hat aber noch Schwierigkeiten zu abstrahieren. Es wird erneut deutlich gemacht, dass dies immer noch nur die konkrete Beschreibung eines einzelnen Beispiels ist <223-224>, woraufhin sich Lea meldet und die Formulierung „zwei Zahlen *(sehr leise)* die aufeinander folgen/“ <225-226>

vorschlägt, mit der sie die geforderte Abstraktion bzw. Verallgemeinerung liefert. Diese Formulierung wurde so als sprachliches Vorbild im Radiobeitrag eingeführt (MF, Z. 39-40) und auch bereits einmal von der Lehrkraft verwendet <180-181>. Die Lehrkraft bestätigt und lobt Leas Äußerung und notiert die Formulierung auf dem Wortspeicherplakat <277>.

Schlussfolgerungen

Hörverstehen: Die hier untersuchte Sequenz zeigt eine Interaktion nach der Erstrezeption eines Audiobeitrages, in der sichtbar wird, wie intensiv und detailliert die Schüler:innen dem Beitrag zuhören und wie sie sich kritisch reflektierend mit dem Gehörten auseinandersetzen. Es werden Lücken in der Erklärung entdeckt und versucht, die Lücken im Hörverstehen durch eingeforderte Explikation zu schließen. Auf den Stufen des Hörverstehens konnten deshalb das selegierende, das detaillierte und das reflektierende Hörverstehen identifiziert werden (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994). Selbst vermeintlich kleine Details wie die Namen der Protagonist:innen und die Zuteilung, wer mit welchem Ereignis gewinnt, können präzise wiedergebeben werden. Es kann also im Einklang mit Lampert und Wespe (2012), Reich et al. (2005) und Padberg-Schmidt (2020) festgehalten werden, dass die Rahmengeschichte und die Personifizierung durch die Protagonist:innen Hörverstehen massiv erleichtern und unterstützen.

Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle: Obwohl die Lehrkraft nach einer verbalen Erklärung fragt, schlagen sowohl Lea als auch Sarah vor, Würfelbilder zu malen bzw. zu zeichnen. Sie fordern damit eine Visualisierung des Gehörten ein – entweder, weil sie diese Visualisierung brauchen oder weil sie ihnen einfacher erscheint als eine verbale Erklärung. Weiterhin lässt sich festhalten, dass beide Schülerinnen diese mentale Vorstellung selbstständig entwickelt haben, ohne sie durch ein visuelles Medium präsentiert bekommen zu haben. Die Rezeption des auditiven Mediums führte dazu, dass mentale Repräsentationen selbstständig entwickelt werden mussten und konnten.

Fachbezogene Bildungssprache: Die erneute Aufforderung zur verbalen Erklärung führt zu einem Übergang vom Nennen von Beispielen hin zur Definition durch Abstraktion. Da sich die Äußerungen stark an den Erklärungen des Radiobeitrages orientieren (Konditionalgefüge, Wortwahl etc.), lässt sich schlussfolgern, dass das auditive Medium – in Verbindung mit den Äußerungen der Lehrkraft – erfolgreich als sprachliches Vorbild im Sinne des Scaffoldings (Gibbons, 2002) und als Grundlage für die Wortspeicher-Arbeit genutzt werden konnte (Verboom, 2017).

Analyse 02: Wortspeicherarbeit ‚Chance'

Nachdem das Würfelspiel durch den Beitrag erklärt und von den Schüler:innenn in Partnerarbeit erprobt wurde, wurden anschließend die Ergebnisse der Erprobung besprochen und dabei die Diskussion angestoßen, ob das Spiel nun fair ist oder nicht. Nach ersten Vermutungen und Überlegungen wird in dem folgenden Transkriptausschnitt gemeinsam die nächste Sequenz des Radiobeitrages gehört (MF, Z. 109-119), das Gehörte besprochen, sowie versucht, eine Erklärung für den Begriff *Chance* zu finden, die später auf dem gemeinsamen Wortspeicherplakat festgehalten werden soll. Zum Zeitpunkt, an dem das Transkript einsetzt, wurde gerade gemeinsam die nächste Sequenz des Radiobeitrages (MF, Z. 109-119) rezipiert.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
132 133	06:36	L	oke\ was habt ihr jetzt gehört/ *(8 Sek.) (Amelie, Nora, Tarik und Jannik melden sich)* Tarik\
134 135	06:46	Tarik	bei Pasch man mehr Chancen **hat**\ . weil bei **Pasch** gibt's sechs Möglichkeiten und bei Straße nur fünf\ .
136	06:55	L	oke\ . *(Jannik nimmt seine Hand wieder runter)* Jannik\
137	06:57	Jannik	ich wollt das Gleich sagen\#
138	06:58	L	#ja/ *(4 Sek.) (Amelie meldet sich)* Amelie/
139 140 141	07:03	Amelie	also bei **Stra**ße *(zeigt auf die Tabelle)* hat man ja echt nur fünf Möglichkeiten und bei Pasch ja sechs\ und dann ist bei . **Pasch** halt- hat man halt ne Chance mehr sozusagen\

Die Frage der Lehrkraft <132-133> eröffnet ein Klassengespräch, in dem Gehörtes von den Schüler:innenn in eigenen Worten oder im sprachlichen Vorbild des Beitrages wiedergegeben und zusammengefasst werden kann. Die Lehrkraft leitet somit – im Sinne Leisens Lesestrategien (Leisen, 2013) und im Sinne der in dieser Arbeit entwickelten Hörstrategien zur auditiven Informationsverarbeitung (Kap. 3.4) – nach der Erstrezeption ein Wirkungsgespräch bzw. eine Verständnisüberprüfung (Leisen, 2013) ein, durch die sich zeigen kann, welche Informationen von den Rezipient:innen im Sinne des selektiven Zuhörens aufgenommen und abgespeichert wurden. Die Frage ("was habt ihr jetzt gehört/" <132>) ist dabei ganz offen gestellt und erlaubt als Antwort sowohl eine Zusammenfassung des Gehörten auf Metaebene (z.B. „es ging um xy") als auch die Wiederholung einzelner Aussagen (z.B. „Franka hat gesagt…") oder aber auch das Herausstellen einzelner mathematischer Kernaussagen (z.B. „es ist wahrscheinlicher, dass man einen Pasch würfelt, weil…). Diese offen gestellte Frage birgt also Differenzierungspotential und kann deshalb als sehr sinnvoll für die Einleitung eines Wirkungsgespräches oder einer Verständnisüberprüfung bewertet werden.

Die erste Wortmeldung <134-135> kommt von Tarik. Seine Aussage ist stark angelehnt an das sprachliche Vorbild der Protagonistin Franka (MF, Z. 114-118). Sein zweiter Kausalsatz („weil bei **Pasch** gibt's sechs Möglichkeiten und bei Straße nur fünf\“ <134-135>) ist fast identisch mit dem Satz aus dem Radiobeitrag, weshalb hier die argumentative Satzstruktur des Beitrages als wirkungsvolles bildungssprachliches Vorbild und somit als verbales Mikro-Scaffolding (Meyer & Tiedemann, 2017; Kap. 4.4.4) gesehen werden kann. Frankas Vermutung lautet, dass es „wahrscheinlicher ist, dass man einen Pasch würfelt“ (MF, Z. 114-115). Daraus macht Tarik „bei Pasch man mehr Chancen **hat**\“ <134>. Auf konzeptueller Ebene bedeutet für ihn also die Tatsache, dass etwas wahrscheinlicher ist, dass es mehr Chancen (im Sinne von Möglichkeiten) für dieses Ereignis gibt. Tarik hat die auditiv vermittelte Vermutung also korrekt aufgenommen, kann sie in eigenen Worten wiedergeben und zeigt dabei auch noch ein gutes konzeptuelles Verständnis von Wahrscheinlichkeit bezogen auf die Spielsituation. Mit Blick auf die o.g. Intention der Lehrkraft bzw. des Wirkungsgespräches und auf mögliche Reaktionen auf die offen gestellte Frage lässt sich festhalten, dass Tarik die wichtigsten Informationen, die er für die Beantwortung der Frage der Lehrkraft benötigt - mathematische Kernaussagen – aus der Sequenz herausfiltert und präzise wiedergibt. Augenscheinlich war die auditive Informationsverarbeitung erfolgreich, sodass detailliertes Hörverstehen erreicht werden konnte (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994). Tariks Aussage kann seinen Mitschüler:innen gleichzeitig als präzise Zusammenfassung dienen.

Mit Blick auf die Satzkonstruktion fällt auf, dass Tariks Aussage keinen Hauptsatz enthält, sondern direkt mit einem Nebensatz, einem Kausalsatz, beginnt. Die Lehrkraft hat allerdings gar nicht nach einer Begründung gefragt. Der passende Hauptsatz zu diesem Kausalsatz könnte lauten „Das Spiel ist nicht fair, weil…“ oder „Es ist wahrscheinlicher, mit Pasch zu gewinnen, weil…“. Dies deutet darauf hin, dass Tarik tatsächlich gedanklich noch mit der Frage beschäftigt ist, ob und warum das Spiel fair ist, und somit die Audiosequenz nicht für sich alleine stehend, sondern in dem übergeordneten Kontext der Frage nach der Fairness rezipiert hat. Er scheint somit in der Lage zu sein, die Erkenntnisse aus dem Beitrag sowie die eigenen Erfahrungen aus der vorangestellten Erprobung des Würfelspiels in Partnerarbeit auf die übergeordnete Frage der Einheit zu beziehen und diese (vorerst) zu beantworten.

Mathematisch gesehen ist diese Aussage nicht korrekt. Erst später entdecken die Schüler:innen, dass die Möglichkeiten für Pasch und Straße doch in einem anderen Verhältnis stehen. Bezogen auf Tariks Wissensstand, also die Informationen aus dem Radiobeitrag und seine Handlungserfahrung, ist seine Aussage vorerst richtig. Die Aussage, dass es mehr Möglichkeiten für Pasch gibt, wird nicht hinterfragt. Auch der Widerspruch, dass sowohl die

Protagonist:innen des Beitrages als auch die Kinder in der Klasse häufiger mit Straße gewonnen haben, wird nicht weiter aufgegriffen.

Auch Amelie wiederholt (vorerst) korrekt – wie im Beitrag gehört –, dass es für das Ereignis *Straße* fünf und für das Ereignis Pasch sechs Möglichkeiten gibt <139-141>. Der Einschub „echt“ <139> in Verbindung mit der Zeigegeste könnte als Verifikation durch Berufung auf die Überprüfung im eigenen Experiment gedeutet werden: die eigene Erfahrung bzw. die eigenen Ergebnisse bestätigen die Aussage aus dem Radiobeitrag auf die sich Amelie hier bezieht. Dies kann im Sinne der *überfachlichen Kompetenzen* (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 8) als kritisches Überprüfen von Informationen, d.h. Medienkritik und damit als Zeichen für Medienkompetenz (Baacke, 1996) angesehen werden. Das Hessische Kerncurriculum betont die Bedeutung dieser Kompetenz, denn „… der Einsatz von Medien zur Information und Präsentation sowie eine kritische Mediennutzung schaffen die Voraussetzung, um in der heutigen Informations- und Mediengesellschaft kompetent und verantwortungsvoll zu handeln“ (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 8). Auffällig ist, dass Amelie nur bei der Erklärung „also bei **Stra**ße hat man ja echt nur fünf Möglichkeiten“ <139> mit dem Finger auf ihrem Arbeitsblatt auf die Tabellenhälfte mit den Kreuzen für die Straße tippt. Bei der Aussage „und bei Pasch ja sechs\“ <139-134> wiederholt sie diese Zeigegeste nicht. Hier sind zwei Deutungsmöglichkeiten möglich. Amelie könnte einerseits verstanden haben, warum Franka meint, es gäbe fünf Möglichkeiten für das Ereignis *Straße* und sechs für das Ereignis *Pasch*. Ihre Zeigegeste könnte dann als Betonung aufgefasst werden, dass es bei *Straße* eine Möglichkeit weniger gibt oder aber als Hilfe und Beginn bzw. Ansatz für ihre Gedankenstruktur, die sie dann für den zweiten Teil der Überlegung (die Möglichkeiten für das Ereignis *Pasch*) nicht mehr benötigt. Andererseits wäre auch denkbar, dass sich ihre „fünf Möglichkeiten“ <139> auf die Anzahl der Spalten beziehen, auf die sie in der Tabellenhälfte mit den Kreuzen für die Straße zeigt. In dieser Deutungsvariante würde sie die fünf Möglichkeiten also missinterpretieren: Es gibt fünf Spalten bei der Straße, also auch fünf Möglichkeiten, Kreuze zu setzen. Dies würde natürlich bedeuten, dass es für das Ereignis *Pasch* auch nur fünf Möglichkeiten gibt, Kreuze zu setzen. Amelies Aussage „und bei Pasch ja sechs\“ <139-134> könnte darin begründet sein, dass sie ihre Zeigegeste nicht wiederholt und ihr der Denkfehler deshalb nicht auffällt. Oder diese Ergänzung zeigt, dass sie sich eben nicht auf die Anzahl der Spalten bzw. Möglichkeiten für die Kreuze in der Tabelle bezieht, sondern von den tatsächlichen Möglichkeiten für die beiden Würfelereignisse spricht. In diesem Sinne wäre ihr Zusatz „und dann ist bei . **Pasch** halt- hat man halt ne Chance mehr sozusagen\“ <140-141> eine begründete Schlussfolgerung, die auf den beiden Feststellungen beruht. In dieser

Deutungsrichtung hat Amelie die Gewinnchancen des Spiels (vorerst) korrekt erfasst und führt Frankas Erklärung noch weiter aus. Auffällig dabei ist, dass sie statt „Chance“ <141> auch den Begriff *Möglichkeit* hätte nutzen können. Wenn das Ereignis *Straße* fünf und das Ereignis *Pasch* sechs Möglichkeiten hat, hat der *Pasch* eine Möglichkeit mehr. Amelie könnte den Begriff „Chance“ <141> entweder als Synonym für *Möglichkeit* nutzen oder damit auszudrücken versuchen, dass für *Pasch* die Gewinnchancen besser stehen. In jedem Fall sind die Begrifflichkeiten noch unklar und können eher als Beschreibungsversuche gesehen werden.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
142 143 144 145 146	07:15	L	okay\ *(4 Sek.)* du hast das Wort **Chance** jetzt ein paar Mal benutzt- und die im Beitrag haben das auch benutzt- . . das ist auch so ein schwieriges Wort\ aber was heißt das denn eigentlich- wenn ich eine Chance habe/ *(6 Sek.) (Akay und Tarik melden sich)* Akay\
147 148 149	07:36	Akay	zum Beispiel halt ne Chance beim Lotto oder so gewinnen bei z- von ve- hundert Prozent eh- zu siebenundfünfzig Prozent hat der Chancen\
150 151	07:46	L	oke\ . . *(Tarik meldet sich immer noch, Amelie und Swetia jetzt auch)* Tarik\
152 153 154 155	07:49	Tarik	oder man kann das noch- und dann ehm- ehm- **Art**en wie **eh**- **wie** mein Freund **sagt** jetzt will- du hast zu **viel** Quatsch gemacht jetzt **krieg** ich **diesen Roller** und dann fragst du noch- ich krieg noch ne **Chance**\
156	08:03	L	achso\ . . *(Amelie, Nora und Swetia melden sich)* Swetia\
157 158 159 160	08:07	Swetia	na also kann auch so sein\ dass es- zum B e i s p i e l- . e h m- . . . eh dass du irgendwo fest- feststeckst und es kann noch- es gibt noch die Chance dass de- dich noch jemand findet\
161	08:23	L	achso\ ja\ . . *(Amelie und Nora melden sich noch)* Nora\
162 163 164	08:27	Nora	also zum Beispiel beim F u ß b a l l- wenn m a n eine gelbe Karte hat- da hat man sozusagen noch eine zweite **C h a n c e**- dass man nicht ganz rausfliegt aus dem Spiel\

Sowohl Tarik als auch Amelie haben den Begriff *Chance* jeweils einmal erwähnt. Mit ihrer Anknüpfung an Amelies Äußerung mit den Worten „du hast das Wort **Chance** jetzt ein paar Mal benutzt- und die im Beitrag haben das auch benutzt-“ <142-143> könnte die Lehrkraft sich entweder auf früher getätigte Aussagen Amelies beziehen oder sie differenziert gerade nicht mehr zwischen den Äußerungen der beiden Schüler:innen. In jedem Fall geht sie nicht weiter auf Amelies Argumentation ein und leitet über zu der Klärung des Begriffes *Chance* mit dem Kommentar „das ist auch so ein schwieriges Wort\“ <143-144>, welcher den Kindern entweder ein Gefühl der Entlastung geben kann, weil der Erwartungsdruck sinkt, oder auch die Motivation bzw. den Ehrgeiz fördern kann, dieses schwierige Problem zu lösen. Sie konkretisiert die Richtung der Begriffsklärung mit der Frage „aber was heißt das denn

eigentlich- wenn ich eine Chance habe/“ <144-145>, wobei sie dem Begriff wieder eine andere Bedeutung gibt als der Beitrag, der mit „die gleichen Chancen“ (MF, Z. 230) und „mehr Chancen“ (MF, Z. 200, 201) eher die Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten für ein Ereignis beschreibt. Die Schüler greifen dieses Verständnis auf. Tarik beispielsweise erklärt in <134-135> „bei Pasch man mehr Chancen **hat**\“ und Amelie sagt in <140-141> „ne Chance mehr sozusagen“. Die Frage der Lehrkraft impliziert demgegenüber eher ein Verständnis von *Chance* als einer Gelegenheit, Möglichkeit oder Aussicht auf etwas, das eintreten kann oder wird. Dementsprechend geben die Schüler:innen als Antwort auf diese Frage berechtigterweise Alltagsbeispiele an, in denen man eine Chance, also eine Aussicht auf etwas hat. Akay spricht von einem Lottogewinn <147>, Tarik und Nora von der zweiten Chance nach negativem Verhalten <152-155; 162-164> und Swetia von der Chance, gefunden zu werden <157-160>. Das Unterrichtsgespräch verlässt also die ursprünglich eingeschlagene und geplante Richtung, was auch an der doppelten Bedeutung liegen kann, mit welcher der Begriff *Chance* im Radiobeitrag belegt wird: die Chance als die o.g. Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten für ein Ereignis sowie die Chance als Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis (MF, Z. 109-111). An dieser Stelle des Unterrichtsgeschehens existieren also schon drei verschiedene Verständnisformen für den Begriff *Chance*. Besonders interessant ist in dem Zusammenhang die Aussage von Akay in <147-149>: „zum Beispiel halt ne Chance beim Lotto oder so gewinnen bei z- von ve- hundert Prozent eh- zu siebenundfünfzig Prozent hat der Chancen\“. Im ersten Teil der Aussage spricht er von einer Chance – also einer Möglichkeit oder Aussicht darauf – im Lotto zu gewinnen. Im zweiten Teil beschreibt er die Wahrscheinlichkeit zu gewinnen mit 57%. Mit 100% zu 57% versucht er entweder zu erklären, dass man bei einer Wahrscheinlichkeit von 100% sicher gewinnen würde, aber der Spieler hier im Vergleich dazu nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 57% gewinnen kann, oder er spricht das Verhältnis 57 zu 100 an. Tarik kündigt sogar an, dass mit seinem Beispiel noch eine andere Art des Verständnisses erfolgt: „oder man kann das noch- und dann ehm- ehm- **Art**en wie **eh**-„ <152-153>. Es sind also verschiedene Vorstellungen zu diesem Begriff möglich und diese abzufragen ist sicherlich sinnvoll, um Fehlvorstellungen zu identifizieren und eine gemeinsame Wissensbasis zu schaffen. Um eine gelingende Kommunikation zu ermöglichen, muss jedoch klar sein, von welcher Vorstellung die Rede ist oder welche als Konvention festgelegt werden soll. Diesbezüglich stellen die Formulierungen des Beitrages ebenso wie die Äußerungen der Lehrkraft eine Herausforderung für die Schüler:innen dar.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
165 166 167	08:39	L	genau\ . . das sind gute Beispiele\ *(6 Sek.)* fällt euch dazu noch was ein/ . . wie man das erklären könnte\ *(8 Sek.)* *(Tarik meldet sich)* ja\
168 169 170 171	09:03	Tarik	**also**- wie vielleicht- **bei** vielleicht so- wenn auch **hier** vielleicht Pasch **nix** hat und **Straße** braucht nur noch eins- dann kann immer noch Pasch gewinnen\ weil da ist ne Chance\ <das der-
172	09:19	L	<du meinst dann hat der noch eine Chance/
173 174 175	09:21	Tarik	weil dann kann einfach die Straße nix mehr- mh- dann **kann** Pasch so viel Glü- **Glück** haben dass er ganz viele ehm- Pasch **würfelt** und die Straße gar nicht mehr\
176	09:34	L	mhm\ . oke\ .

Mit ihrer Äußerung in <165-166> versucht die Lehrkraft wieder zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Bisher hat sie nach jedem genannten Beispiel mit „okay…“ <150> oder „achso..“ <156; 161> reagiert. Es wird deutlich, dass sie nicht mit dieser Art von Antworten gerechnet hat. Vermutlich merkt sie auch, dass sie ihre Frage missverständlich gestellt hat und die Beispiele als Antwort auf ihre Frage in <142-145> korrekt sind. Aus diesem Grund reagiert sie jetzt mit Zustimmung und Wertschätzung, wobei das „genau\ . . das sind gute Beispiele\“ <165> gleichzeitig auch als abschließende Bemerkung gedeutet werden kann. Mit der anschließenden Frage „fällt euch dazu noch was ein/ .. wie man das erklären könnte/“ <165-166> versucht sie, die Ausgangsfrage zu konkretisieren. Der erste Teil könnte dabei weiterhin als eine Aufforderung verstanden werden, neue Beispiele zu nennen. Der zweite Teil kann als eine Eigenkorrektur oder Präzisierung gesehen werden. Sie fordert hier konkret eine Erklärung. Unklar könnte bleiben, was mit „das“ <166> gemeint ist. Mögliche Deutungen wären z.B. ‚die Chance’oder ‚das Spiel‘. Vermutlich bezieht sich die Lehrkraft hier immer noch auf <142-145> und meint: Wie kann man „das“ erklären, „wenn ich eine Chance habe/“ <145>.

Tarik meldet sich nach acht Sekunden und wird drangenommen. Seine Antwort zeigt, dass er verstanden hat, dass jetzt nicht mehr nach Beispielen, sondern nach einer Erklärung gefragt ist. Er geht außerdem tatsächlich zur Ausgangsfrage sowie zum Würfelspiel zurück und versucht sich an einer Erklärung dafür, eine Chance in diesem Spiel zu haben. Er versteht das „das“ <166> also in dem von der Lehrkraft intendierten Sinn. Seine Erklärung zielt auf das Verständnis einer Chance als einer bestehenden Möglichkeit für ein Ereignis und damit für den Sieg im Spiel <168-171>. Selbst wenn für das Ereignis Pasch noch kein Kreuz in der Tabelle gemacht werden konnte, da es noch nicht gewürfelt wurde (es also „**nix** hat“ <169>), und für das Ereignis Straße schon vier von fünf Kreuzen in der Tabelle gemacht werden konnten („**Straße** braucht nur noch eins-“ <169>), besteht immer noch die Möglichkeit oder Chance,

dass in den nächsten Würfen fünfmal das Ereignis Pasch fällt, bevor die letzte benötigte Straße gewürfelt wird. Die Wahrscheinlichkeit für diesen Ausgang des Geschehens ist zwar gering, aber trotzdem gegeben. Tarik hat verstanden, dass bis zum letzten Moment des Spiels nichts entschieden ist, da immer noch die Möglichkeit besteht, dass das Blatt sich wendet („da ist ne Chance\“ <170-171>).

Die Lehrkraft hakt mit der Frage „du meinst dann hat der noch eine Chance/“ <171> nochmal nach, was entweder als Aufforderung zu einer genaueren Erläuterung verstanden werden könnte oder aber als Äußerung eines Zweifels und damit als Aufforderung, die Aussage zu korrigieren oder zu revidieren. Tarik ist sich in seinem Begriffsverständnis jedoch sicher. Er versteht die Frage deshalb als Ermutigung, seine Erklärung weiter zu begründen und führt fort: „weil dann kann einfach die Straße nix mehr- mh- dann **kann** Pasch so viel Glü- **Glück** haben dass er ganz viele ehm- Pasch **würfelt** und die Straße gar nicht mehr\“ <173-175>. Er verknüpft das Verständnis der *Chance* hier mit dem Konzept von *Glück*. Durch Glück kann auch das Ereignis für die vermeintlich geringe „Chance“ <171> (also Wahrscheinlichkeit), dass das Ereignis *Pasch* doch noch gewürfelt wird, eintreten. Mit viel Glück sind also auch sehr unwahrscheinliche Ergebnisse möglich. Durch Tariks Ausführungen wird deutlich, dass er die Gewinnchancen des Würfelspiels realistisch einschätzen und gut kommunizieren kann.

Schlussfolgerungen

Hörverstehen: In der hier untersuchten Interaktionssequenz zeigt sich, dass die Schüler:innen auf der Stufe des selegierenden und detaillierten Hörverstehen agieren können (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994). Wichtige Informationen und mathematische Kernaussagen, die für die Beantwortung der Fragen der Lehrkraft benötigt werden, können aus der Sequenz des auditiven Mediums herausgefiltert und präzise wiedergegeben werden. Mehr noch, die Sequenz wurde nicht für sich alleine stehend, sondern in dem übergeordneten Kontext der Frage nach der Fairness rezipiert und die erarbeiteten Erkenntnisse genutzt, um ebendiese (vorerst) zu beantworten. Dabei wurden gleichzeitig Verifikation durch Berufung auf die Überprüfung im eigenen Experiment genutzt, was im Sinne der Medienkompetenz (Baacke, 1996) oder der Forderungen des hessischen Kerncurriculums als Aspekt kritischer Mediennutzung gewertet werden kann (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 8).

Fachbezogene Sprachbildung: Außerdem wurde sichtbar, wie die argumentative Satzstruktur des auditiven Mediums als wirkungsvolles bildungssprachliches Vorbild und somit als verbales

Mikro-Scaffolding (Meyer & Tiedemann, 2017) dienen konnte. Zwar sind einzelne Begrifflichkeiten noch in der Aushandlung und es zeigen sich verschiedene Vorstellungen beispielsweise zum Begriff „Chance“ – doch durch das Abfragen dieser können Fehlvorstellungen identifiziert und der Prozess der Aushandlung gestartet werden, um eine gemeinsame Wissensbasis zu schaffen. Die unterschiedlichen Formulierungen des Beitrages und der Äußerungen der Lehrkraft stellen jedoch eine Herausforderung dar, die es bei der Vorbereitung der Arbeit mit auditiven Medien – wie auch bei der Arbeit mit jedem anderen Medium – zu berücksichtigen gilt. Für eine gelingende Kommunikation müssen Konventionen festgelegt werden. Im Hinblick auf die Lernziele der Einheit (Kap. 5.1.7) und die übergeordnete Fragestellung der Radiosendung kann jedoch festgehalten werden, dass die Schüler:innen das Verständnis der *Chance* mit dem Konzept von *Glück* verknüpfen sowie die Gewinnchancen des Würfelspiels realistisch einschätzen und gut kommunizieren können.

Analyse 03: Kombinationsmöglichkeiten

Das im Radiobeitrag von den Protagonist:innen eingeführte Würfelspiel wurde in mehreren Schritten erprobt, untersucht und bewertet. Dazu wurde zuerst das Spiel intuitiv erprobt und bewertet. Anschließend wurden anhand einer Tabelle alle möglichen Würfelkombinationen ermittelt und anhand dieser die Häufigkeit der Ereignisse *Pasch* und *Straße* durch das Setzen von Kreuzen bestimmt (Abb. 45). Zwischen diesen Schritten wurden weitere Teile des Beitrages gehört und anhand der Inhalte ein Wortspeicher erarbeitet. Zum Zeitpunkt, an dem das Transkript einsetzt, sprechen die Schüler:innen über ihre Ergebnisse und diskutieren, ob das Spiel nun fair ist oder nicht.

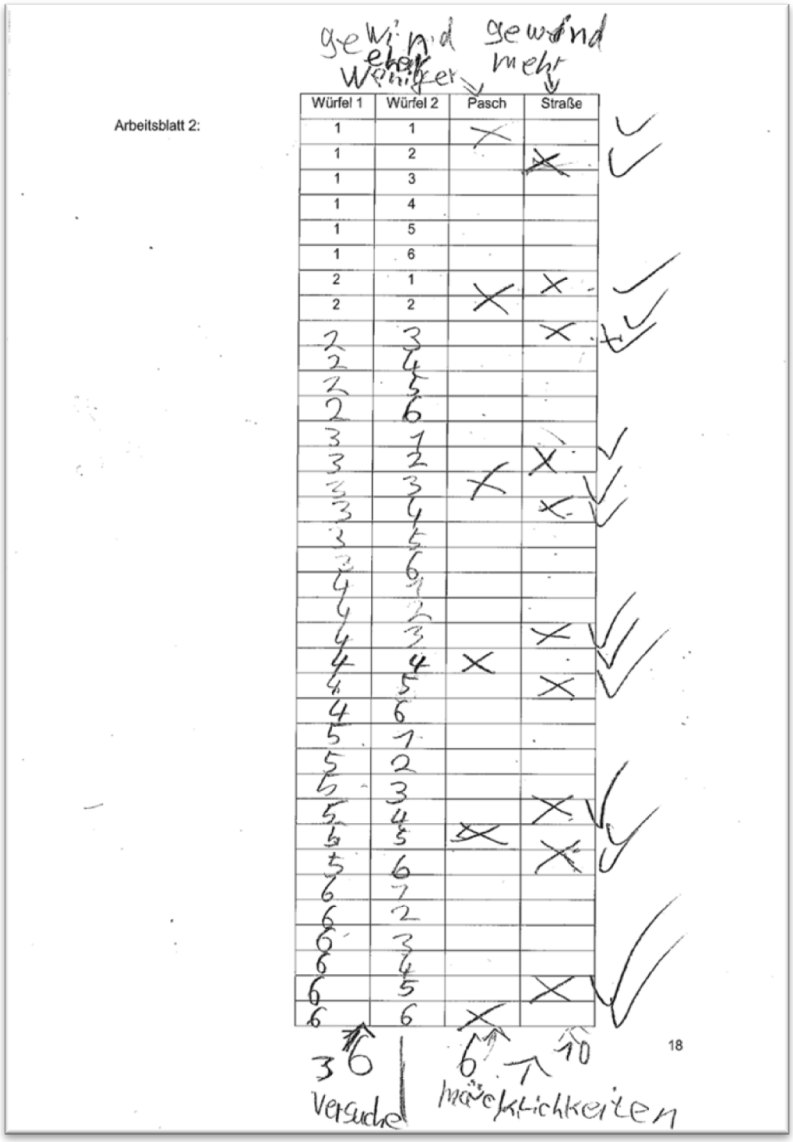


Abbildung 45: Ausgefülltes Arbeitsblatt zur Ermittlung der Würfelkombinationen und möglichen Ausgänge von Atay und Amelie

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
432 433	23:11	Amelie	zehn Straße und sechs Pasch hab ich\ **und** hier bei den Würfel eins und zwei sind sechsund- <dreißig
434	23:16	Tarik	<**zehn** Straße\
435	23:17	Amelie	Versuche mit Würfen\
436	23:18	L	genau\ es gibt sechsunddreißig Möglichkeiten\#
437	23:20	Jannik	#ja der Tarik hat das vertauscht\
438 439	23:22	Akay	wir sagen doch die ganze Zeit dass das ungerecht ist\ *(zeigt auf Tarik, der den Kopf schüttelt)* und er sagt es ist Glück\
440	23:27	Jannik	d o c h das ist unfair\
441	23:29	Akay	jah\

Amelie beginnt in <432-433> ihre Ergebnisse aus der Arbeitsphase vorzustellen und nennt die Anzahl der möglichen Ausgänge für *Pasch* und *Straße*, die sie durch Ankreuzen in der Tabelle

identifizieren konnte. Sie gibt an, dass es insgesamt 36 „Versuche“ <435> gibt, von denen „zehn Straße und sechs Pasch“ <432> sind. Mit den Versuchen meint sie die Möglichkeiten, (mögliche Ausgänge oder mögliche Würfelkombinationen), die es insgesamt beim Würfeln mit zwei Würfeln gibt. Dies haben sie und Atay auch auf dem Arbeitsblatt unter die Spalten der „Würfel eins und zwei“ <433> notiert (Abb. 45). Direkt daneben unter die Spalten der möglichen Ausgänge für *Pasch* und *Straße* haben die beiden auch diese nochmal zusammenfassend notiert mit der Bezeichnung ‚Möglichkeiten‘ notiert. Dies kann als Versuch einer sprachlichen Abgrenzung oder Unterscheidung der beiden Klassen von Ergebnissen in eigenen Worten gewertet werden. Die Erkenntnisse der Untersuchung sollen in klarer Systematik festgehalten werden. Es wurde in der Tabelle also 36 mal versucht ein Ereignis zu kreuzen, aber nur 16 Möglichkeiten identifiziert. Dieser Versuch einer Abgrenzung wird jedoch von der Lehrkraft missachtet und die Begriffe wieder vermischt als sie Amelie zwar bestätigt, jedoch wiederholend von „Möglichkeiten“ <436; 443> spricht. Dies ist korrekt und stellt ein sprachliches Korrektiv im Sinne des Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002) dar, könnte aus der Perspektive von Atay und Amelie jedoch auch verwirrend oder sogar falsch wirken. Weiterhin interessant ist die Tatsache, dass Amelie die Pluralbildung nicht richtig gelingt („Zehn Straße und sechs Pasch“ und „bei den Würfel 1 und 2“ <432-433>). Sie baut die Begriffe einfach im Singular in die Satzstruktur ein. Da Deutsch nicht ihre Muttersprache ist und sie noch oft mit sprachlichen Anforderungen zu kämpfen hat, kann dies jedoch als mutiges Verhalten gewertet werden. Trotz grammatikalischer Hürde kommuniziert sie ihre Ergebnisse verständlich und nutzt dabei die Tabelle und ihre Notation als sprachliche Orientierung.

Während der Interaktion zwischen Amelie und der Lehrkraft wird ausgehend von Amelies Ergebnisdarstellung außerdem ein Nebengespräch angeregt. Tarik wiederholt in <434> die Anzahl der Möglichkeiten für Straße. Dies ist dadurch zu erklären, dass er und Nora sich in ihrer Tabelle verzählt haben. Sie haben die Kreuze zwar richtig gesetzt, aber durch das Verzählen eine falsche Notation festgehalten (Abb. 46). Scheinbar hat Jannik dies bemerkt oder gesehen, denn er wirft seine Vermutung ein, dass Tarik „das“ <437> also die Kreuze „vertauscht“ hat <437>. Er meint damit vermutlich, dass Tarik ein Kreuz falsch gesetzt und damit den Platz vertauscht hat, wodurch das Ergebnis quasi gegensinnig verändert wurde. Wie man in den Schülerdokumenten sehen kann, hat Tarik seinen Fehler daraufhin korrigiert. Das Zusammentragen der Ergebnisse hat also wie vorgesehen zur Sicherung einer gemeinsamen Wissensbasis beigetragen.

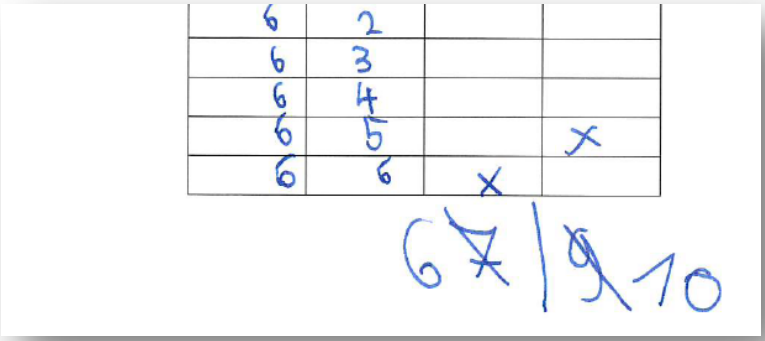


Abbildung 46: Ausschnitt des Schülerdokumentes von Tarik und Nora

Atay meldet sich unaufgefordert zu Wort und bringt das Gespräch von der Besprechung der Ergebnisse auf eine Metaebene, indem er den Gegensatz zwischen „ungerecht“ <438> und „Glück“ <439> zur Sprache bringt. Das Wort ‚Glück‘ ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht im Beitrag gefallen, Tarik hat es jedoch schon ein paarmal in den Raum geworfen, als vor der Untersuchung des Würfelspiels Vermutungen über die Fairness aufgestellt worden sind (TF_2Z_4K_2S; Z. 173-175). Darauf bezieht sich Atay hier. Er erhofft sich mit seiner Äußerung Bestätigung oder die Rechtsprechung von der Lehrkraft, dass Tarik seiner Ansicht nach nicht einsichtig ist. Obwohl schon „die ganze Zeit“ <438> gesagt wird, dass das Würfelspiel ungerecht ist, sagt Tarik weiterhin „es ist Glück\“ <439>. Dabei ist Glück eine Spielinterpretation, keine mathematische Äußerung. Dies scheint Atay mit Nachdruck klären zu wollen, und nutzt dabei die erste Person Plural, durch die sprachlicher Zusammenhalt suggeriert werden kann. Die Pluralbildung kann dabei weniger im Sinne einer Gruppenkohäsion (inklusives „wir“) verstanden werden, zu der es oft genutzt wird, als eher im Sinne von Autorität durch Mehrheit (wir gegen dich) sowie Abgrenzung (exklusives „wir“). Nach Atay hat die Mehrheit „wir“ <438> also schon lange festgehalten, was Tarik immer noch nicht verstanden hat: das Spiel ist mathematisch gesehen unfair. Damit wird der Ausgang des Spiels (zumindest in der Theorie) determinierbar – auch wenn es ein Glücksspiel ist.

Jannik unterstützt Atays Standpunkt. Dabei kann das lang gedehnte „d o c h“ <440> als nachdrückliche Zurechtweisung zu Tarik hin gedeutet werden, der eine kaum hörbare aber offensichtlich ablehnende Reaktion zeigt. Dabei nutzt er den Begriff „unfair <440> synonym zur Akays Bezeichnung „ungerecht“ <438>, da beide Begriffe sich in ihrer Bedeutung entsprechen (Kunkel-Razum et al., 2007, S. 546). Janniks Zurechtweisung wird wiederum von Akay bestätigt. Er muss also die synonyme Verwendung der beiden Begriffe richtig eingeordnet und verstanden haben, dass Jannik und er die gleiche Position in Bezug auf das Spiel vertreten.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
442 443	23:29	L	(schreibt an die Tafel) das heißt also **insgesamt**- (8 Sek.) haben wir bei **Pasch sechs** Möglichkeiten\
444	23:41	Jannik	j a h\
445	23:41	Akay	jah\
446	23:42	Nora	und bei **Straße** z e h n\
447	23:43	Swetia	zehn\
448	23:44	Nora	a l s o- . gewinnt Straße eigentlich\#

Die Lehrkraft geht nicht auf die Diskussion der drei Schüler ein, sondern lenkt zurück zur Anzahl der möglichen Kombinationen für Pasch und Straße <442-443>. Problematisch ist, dass der Begriff „Möglichkeiten“ in <435-436> für alle möglichen Würfelkombinationen benutzt wurde, während er hier die Anzahl der günstigen Würfelkombinationen für das Ereignis *Pasch* beschreibt. Diese beiden Bedeutungen werden sprachlich nicht voneinander abgegrenzt und könnten im weiteren Verlauf für Verwirrung sorgen. Die Schüler:innen scheinen jedoch trotzdem zu wissen was gemeint ist, denn es folgt Zustimmung von Jannik <444> und Atay <445> bevor Nora den Satz der Lehrkraft unaufgefordert und korrekt vervollständigt: „und bei **Straße** z e h n\“ <446>. An der Tafel notiert die Lehrkraft die beiden Ereignisse mit der jeweiligen genannten Anzahl an Würfelkombinationen (Abb. 47).

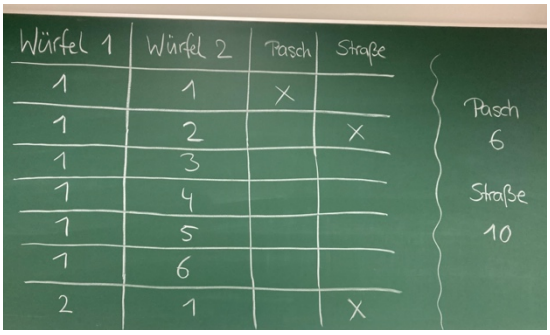


Abbildung 47: Tafelbild zur Untersuchung des Spiels auf das Verhältnis der Würfelkombinationen

Vermutlich hat die verpasste Möglichkeit, die Begrifflichkeiten auszudifferenzieren, für die notwendige Reduktion auf das Wesentliche gesorgt. Es wird außerdem deutlich, dass Nora verstanden hat, dass das durch den Radiobeitrag angeleitete Vorgehen in der Tabelle zu einem Vergleich der Anzahlen der möglichen Kombinationen hinführen soll. Sie ergänzt wiederum eigenständig die Schlussfolgerung „a l s o- . gewinnt Straße eigentlich\“ <448>. Damit geht sie gleichzeitig selbstständig auf die Ursprungsfrage ein, ob das Spiel fair ist und verneint sie implizit mit der Erkenntnis, dass ein Ereignis wahrscheinlicher ist. Ähnlich dem von Wollring (1994) beschriebenen Phänomen der animistischen Vorstellung, der subjektiven Auffassung, dass der Würfel einen eigenen Willen oder Autonomie besitzt, nimmt Nora hier eine

Personifizierung des Ereignisses *Straße* vor. Interessant ist weiterhin, dass sie ihrer korrekten Aussage das Adverb „eigentlich“ <448> anhängt, mit dem das Verb „gewinnt“ <448> abgeschwächt wird. Dies zeigt, dass sie den Widerspruch des festgestellten Verhältnisses zu den Ergebnissen anderer Gruppen erkannt hat und deshalb mit ihrer Aussage keine Allgemeingültigkeit vertreten will. Damit hat sie eine gute und allumfassende Erkenntnis erlangt: Dass die Straße „eigentlich“ <448> gewinnt, bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für diesen Ausgang signifikant höher ist. Ein gegensätzlicher Ausgang ist jedoch nicht unmöglich. Ohne wie Tarik den Begriff „Glück“ zu nutzen (Analyse 02), beschreibt Nora damit die gleiche realistische Einschätzung, dass trotz aller Wahrscheinlichkeitsberechnungen auch immer die unwahrscheinlicheren Ergebnisse möglich sind (Kap. 5.1.4 und 5.1.5).

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
449	23:47	Amelie	#jah\
450	23:48	Akay	es ist ungerecht\#
451	23:48	Amelie	#ja ihr habt <halt mh- bessere
452	23:49	Swetia	<ja das ist- ungerecht
453	23:50	Amelie	**Möglich**keit\
454	23:52	Swetia	ja\
455	23:52	Amelie	eher hat die <S t r a ß e\
456	23:53	Swetia	<das ist ungerecht\
457	23:53	Jannik	ja\
458	23:54	Swetia	dieses Spiel\

An dieser Stelle beginnt eine sehr schöne Aushandlung, in der Schüler:innen eine gemeinsame Erklärung bzw. Argumentationslinie entwickeln. Die einzelnen Äußerungen der Schüler:innen werden nicht von der Lehrkraft eingefordert, sondern entstehen aus dem eigenen Bedürfnis, sich am Gespräch zu beteiligen und stellen somit eine eigene Leistung und selbstbestimmten Fokus dar. Amelie bestätigt Noras Ausführungen <449> und Atay ergänzt eine weitere Schlussfolgerung: „es ist ungerecht\“ <450>. Damit meint er, dass das Spiel ungerecht bzw. unfair ist, weil das Verhältnis der möglichen Würfelkombinationen günstiger für das Ereignis *Straße* ausfällt. Seine Aussage wirft er in den Raum ohne sich zu melden. Ihm scheint also sehr wichtig zu sein, dass diese Information genau jetzt und anschließend an Noras Erklärungen genannt wird, da sie – als Synonym zum Begriff ‚unfair‘ – die Antwort auf die grundlegende Frage der Radiosendung und der Unterrichtseinheit ist. Dabei stellt er jedoch keine explizite Beziehung her. Ungerecht ist „es“ <450>, das Spiel. Auch dies weist darauf hin, dass ihm die durch den Radiobeitrag vorgestellte problemhaltige Situation sowie die dadurch hervorgerufene Notwendigkeit zur Bewertung des Glücksspiels bewusst und präsent ist.

Atays Ergänzung wird von Amelie weiter erläutert – wiederum ohne Meldung. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Lehrkraft sich in ihrer Rolle als Gesprächsleitung zurückzieht

und auf diese Weise die gemeinsame Aushandlung der Schüler:innen ermöglicht. Mit kurzen Unterbrechungen von Swetia, die zweimal bejahend Akays Erkenntnis <450> wiederholt, dass das Würfelspiel ungerecht sei <452; 456>, erklärt Amelie: „ja ihr habt halt mh- bessere **Möglich**keit\ eher hat die S t r a ß e\“ <451-455>. Ebenso wie Nora <448> personifiziert auch Amelie das Ereignis *Straße*. Da Deutsch Amelies Zweitsprache ist, sind die sprachlichen bzw. grammatikalischen Schwierigkeiten hier nicht verwunderlich. Im Gegenteil, für ihre Verhältnisse beginnt sie den Satz sprachlich sogar relativ stark. Unklar bleibt jedoch, wie sie die Phrase „bessere **Möglich**keit“ <451-453> nutzt. Sie könnte hier mehr Möglichkeiten (absolut) oder die bessere bzw. höhere Wahrscheinlichkeit (relativ) beschreiben. Es ist sogar möglich, dass sie beides meint, da sie verstanden haben kann, dass mehr Möglichkeiten zu einer höheren Wahrscheinlichkeit zu gewinnen führen. Das „halt“ <451> impliziert in jedem Fall, dass sie von etwas spricht, das sie als offensichtlich für alle empfindet. Weiterhin interessant ist das Adverb „eher“ <455>, dass in ihrer Äußerung nach- und auf dem Arbeitsblatt oben zwischengeschoben wird. Es hat eine relativierende Funktion, mit der sie im Einklang mit Tarik <434> und Nora <448> einräumt, dass die Straße zwar „bessere“ <451> Möglichkeiten hat, es aber trotzdem nicht sicher sein muss, dass sie gewinnt. Sie gewinnt nur ‚eher‘ – also wahrscheinlicher. Auch hier lässt sich also wieder der Versuch einer sprachlichen Abgrenzung identifizieren, der sich auf dem Arbeitsblatt manifestiert (Abb. 48) mit dem kleinen Unterschied, dass das ‚eher‘ dort nicht das Gewinnen mit dem Ereignis *Straße* relativiert, sondern das Verlieren mit dem Ereignis *Pasch*.

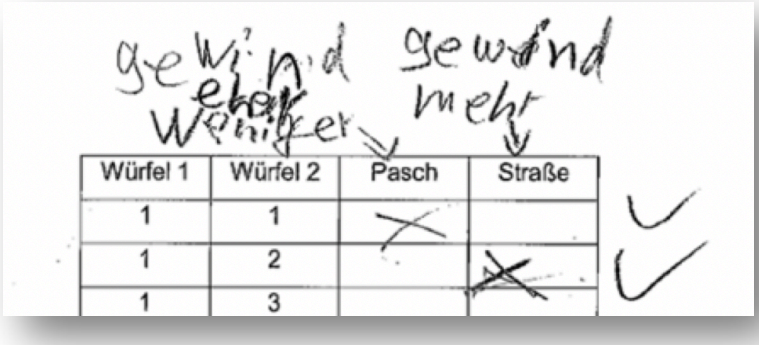


Abbildung 48: Ausgefülltes Arbeitsblatt zur Ermittlung der Würfelkombinationen und möglichen Ausgänge von Atay und Amelie

Diese Erkenntnis hätte auch unten auf dem Arbeitsblatt zu dem absoluten Verhältnis der günstigen Würfelkombinationen notiert werden können. Dass es oben notiert wurde, kann Platzgründe haben, macht aber auch erkenntnistheoretisch mehr Sinn, da nun die

Schlussfolgerungen bzw. Erkenntnisse jeweils direkt den beiden Ereignissen zugeordnet werden können.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
459	23:54	Amelie	ne deswegen-
460 461 462	23:55	L	**Swetia** du bist dran\ . die anderen können sich dann mal melden\ . . und dann könnt ihr auch was zu sagen\ was meinst du/
463 464	24:04	Swetia	es ist ungerecht\ weil **Straße** viel mehr Möglichkeiten hat\ .
465	24:10	L	(Akay meldet sich) okay\ Akay\ was meinst du/
466 467 468 469	24:11	Akay	ich finde es auch ungerecht\ weil . weil einmal Stra- Straße öfters vorkommt\ soll weil es mehrere Zahlen gibt dafür\ und . und weil Pasch halt . nur ganz wenig oft kommt\ (leise) sechs Mal nur\ (unv.) . . .
470	24:33	L	okay\ . . . das heißt- ist das Spiel jetzt fair oder nicht/

Amelie scheint noch etwas richtigstellen zu wollen <459>, wird jedoch von der Lehrkraft unterbrochen, die nun die Gesprächsleitung wieder übernimmt und Swetia drannimmt, da diese bisher mit ihren Äußerungen nicht richtig durchkommen konnte <452-458>. Swetia wiederholt daraufhin ihre schon zweifach eingeworfene Einschätzung, dass das Spiel „ungerecht" sei und begründet, „weil **Straße** viel mehr Möglichkeiten hat\" <463-464>. Durch die Konjunktion „weil" bringt sie dabei die Ursache „viel mehr Möglichkeiten" und die Bewertung bzw. Wirkung „ungerecht" <463> verständlich und korrekt in Beziehung zueinander.

Die Lehrkraft gibt eine kurze Bestätigung oder Kenntnisnahme und fragt dann Akay um eine persönliche Einschätzung <465>. Dieser gibt im Einklang zu seiner Aussage in <438-439> an, dass er das Spiel ungerecht findet, und begründet dies damit, dass Straße im Gegensatz zum Pasch „öfters vorkommt\ soll weil es mehrere Zahlen gibt dafür\" <467-468>. Mit dem Vorkommen bzw. Vorhandensein mehrerer Zahlen meint er, dass es mehr Kombinationsmöglichkeiten für das Ereignis *Pasch* gibt und dieses deshalb häufiger gewürfelt werden kann („vorkommt" <467>). Dabei benutzt Akay das Modalverb „sollen" <467> und erhebt damit implizit einen normativen Anspruch, den er jedoch zum Ende seiner Äußerung wieder korrigiert. Er ist sich also bewusst, dass in Bezug auf dieses oder andere Glücksspiele niemand bestimmen kann, was wie oft vorkommen soll. Interessant ist weiterhin, dass er seine Erklärung in einer zweischrittigen Argumentationskette aufbaut. Das „weil einmal" <466> kann im Sinne von „erstens" gedeutet werden, und das „und weil" <468> im Sinne von „zweitens". Akay hat also erkannt, dass es nicht nur eins, sondern zwei sich gegenseitig ergänzende Erklärungen für das ungleiche Verhältnis und damit zwei Argumente für die negative Bewertung des Spieles gibt.

Wieder zeigt die Lehrkraft kurz an, die Aussage zur Kenntnis genommen zu haben („okay“ <470>), und fragt nochmal konkret nach, ob das Spiel nun fair ist oder nicht. Die Antwort auf diese Frage wurde zwar schon mehrfach gegeben (auch eben von Akay <466>), jedoch geht sie mit ihrer Formulierung „fair“ <470> zum einen zur Ursprungsfrage zurück und zum anderen provoziert sie nochmal eine Grundsatzdiskussion über die Beschaffenheit des Spiels.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
471 472	24:39	Schüler:in-nen	n e e\ ne\ n i c h t\
473	24:42	Tarik	(leise) immer noch Glück\ (unv.)
474	24:44	L	sags mal laut Tarik\ was <denkst du/
475	24:45	Tarik	<immer noch
476 477	24:46	Tarik	**Glück**\ also\ ma- als ma- als man ka- man kann immer noch Pasch gewinnen\
478 479	24:52	Nora	jah\ aber es ist wahrscheinlicher dass man mit Straße gewinnt
480 481	24:55	Tarik	ja das wahrscheinlicher aber m- man kann auch noch Pasch gewinnen\

Nachdem sich die Klasse zuerst einstimmig in Bezug auf die Frage zeigt <471>, äußert Tarik zurückhaltend, aber sicher: „immer noch Glück\“ <473>. Ermutigt durch das Nachhaken der Lehrkraft <474> stellt er sich gegen die überzeugte Einstimmigkeit der Lerngruppe und wirft ein, dass man mit Glück immer noch gewinnen kann. Das Flüstern zeigt, dass er sich seiner Außenseitermeinung bewusst ist. Dass er sich trotzdem äußert, zeigt demtentsprechend, wie bedeutsam er diese Außenseitermeinung einschätzt. Nach ermutigender Aufforderung der Lehrkraft, nochmal laut mitzuteilen, was er denkt, erklärt Tarik selbstsicher, dass man durch Glück immer noch mit Pasch gewinnen kann <476-477>. Damit stellt er die Spielinterpretation des Glücks der mathematischen Deutung bzw. Beschreibung der Wahrscheinlichkeit entgegen. Ähnliche Gegenüberstellungen dieser Positionen konnten auch in anderen beobachteten Lerngruppen beobachtet werden (beispielsweise durch den Einwand „es ist halt ein reines Glücksspiel“ in TF_1Z_4K_2S, Z. 197-198). Auf die Frage „Ist das Spiel fair?“ gibt es jedoch eine klare mathematische Antwort, die durch die Beschreibung der Wahrscheinlichkeiten gefunden werden kann.

Ohne Meldung geht Nora direkt auf Tarik ein. Sie bestätigt ihn, räumt aber gleichzeitig ein: „jah\ aber es ist wahrscheinlicher dass man mit Straße gewinnt“ <478-479>. Damit zeigt sie zum einen Verständnis für Tariks Einwurf und ermöglicht weiteren Austausch. Zum anderen zeigt sie durch den korrekten Gebrauch des Begriffs „wahrscheinlicher“ <478>, dass sie die Verknüpfung der Spielvorstellung und der mathematischen Vorstellung durchdrungen hat. Noras Äußerung kann in diesem Sinne als Indiz für die Durchdringung der Bedeutung des

Begriffs gesehen werden. Auch ihre Personifizierung des Ereignisses *Straße* von <488> hat sie an dieser Stelle abgelegt, wodurch sie ihre Argumentation mathematisiert.

Wieder folgt eine direkte Bezugnahme ohne Meldung: „ja das wahrscheinlicher aber m- man kann auch noch Pasch gewinnen\" <480-481>. Tarik geht auf Noras Einwurf ein, zeigt Verständnis für die Bedeutung des Begriffs „wahrscheinlicher" <480> und für Noras Position diesbezüglich, besteht aber dennoch weiterhin darauf, dass man auch mit dem unwahrscheinlicheren Ereignis *Pasch* gewinnen kann. Damit hat er sicherlich recht: Das Ereignis *Straße* ist wahrscheinlicher, aber nicht sicher. Umgekehrt ist das Ereignis *Pasch* unwahrscheinlicher, aber nicht unmöglich. Dies zeigt ein Verständnis über die Tatsache, dass die das Ergebnis eines Zufallsexperimentes nicht bestimmen lässt, sondern nur von einer Tendenz über den Ausgang gesprochen werden kann basierend darauf „was bei unendlicher Wiederholung passiert" (Blum, 1999, S. 73).

Für die Beantwortung der Frage, ob das Spiel fair ist oder nicht, ist dieser Aspekt jedoch nicht hilfreich, sondern eher sperrig, was sich an der Diskussion der Kinder zeigt. Trotzdem stellt diese Interaktion <473-481> einen spannenden und produktiven Prozess konstruktiver Auseinandersetzung dar (Franke, 2007; Weigand, 2015). Die Lernenden bewerten aufmerksam die Äußerungen ihrer Mitschüler:innen, versuchen sich gegenseitig zu korrigieren oder zu überzeugen und so eine Einigung zu finden. Dabei gehen sie konstruktiv mit den durch das auditive Medium neu eingeführten Begriffen um und füllen sie so mit Bedeutung.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
482	24:58	Akay	aber nur noch zwanzig <Prozent mehr
483 484 485	24:59	L	<da hast du Recht\ natürlich kann man trotzdem gewinnen mit dem **Pasch**\ aber-
486	25:05	Akay	Straße#
487	25:05	L	#Nora was hast du grad gesagt/ sags nochmal laut\
488	25:06	Nora	**aber** e s i s t wahrscheinlicher dass Straße gewinnt\#
489	25:11	Tarik	#jah\ **aber** Pasch kann auch gewinnen\
490 491	25:14	Nora	(zu Tarik gewandt) ja aber es ist wahrscheinlicher (Akay meldet sich) dass **Straße** gewinnt\#
492	25:16	Tarik	#ja a-
493	25:16	L	okay\ Akay\

Es folgt ein spannender Einwurf von Akay, mit dem er in die Diskussion zwischen seinen Mitschüler:innen einsteigt und ein weiteres mathematisches Argument zu bringen versucht. Er bemerkt, dass die Straße „aber nur noch zwanzig <Prozent mehr" hat <482-486>, wobei vorerst unklar bleibt, ob er damit „mehr als vorher" oder „mehr als der Pasch" meint. Nachdem Nora und Tarik in ihrer Diskussion ein weiteres Mal ihre Positionen wiederholen <488-491>, wobei

die Lehrkraft beiden zustimmt <484-487>, übergibt diese das Rederecht nochmal an Akay <493>, damit dieser seinen Einwurf weiter ausführen kann.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
494 495	25:17	Akay	es ist so dass **Pasch** . jetzt . **nur** noch dreißig Prozent hat und Straße jetzt siebzig Prozent\
496 497	25:26	L	o o kay\ wie kommst du auf diese dreißig und die siebzig Prozent/ . . . zusammen müssen‘s wie viel sein/
498	25:34	Akay	(leise) hundert (unv.)
499 500	25:35	L	hundert\ oke\ (6 Sek.) würdet ihr euch jetzt an Nils Stelle auf das Spiel einlassen\ wenn euch das jemand vorschlägt/#
501 502	25:46	Schüler:in-nen	#n e i <n n\

Akay erläutert, dass „Pasch . jetzt . nur noch dreißig Prozent hat und Straße jetzt siebzig Prozent\“ <494-495>. An dieser Stelle wird klar, dass er „mehr als vorher“ gemeint haben muss, da „20% mehr als der Pasch“ in dieser Aufstellung nicht passt. Akays Erklärung ist äußerst spannend und scheint die Lehrkraft zu überraschen, da sie zwar mit einer offenen Fragestellung nachfragt, wie er auf die beiden Zahlen kommt, dann jedoch leider die Antwort verbaut, indem sie eine geschlossene und trichternde Frage nachschiebt („zusammen müssen‘s wie viel sein/“ <496-497>), auf die Akay die knappe, jedoch erwartungskonforme Antwort „hundert“ gibt <498>. Interessant ist trotzdem die Rekonstruktion der mathematischen Vorstellung hinter Akays Erklärung von <494-495>. Hier besteht folgende Deutungsmöglichkeit: Die Wahrscheinlichkeit, mit dem Ereignis Straße zu gewinnen, schätzt Akay jetzt 20% höher ein als vorher <482>. Er behauptet, die Wahrscheinlichkeit, mit dem Ereignis *Straße* zu gewinnen, läge jetzt bei 70% und die Wahrscheinlichkeit, mit dem Ereignis *Pasch* zu gewinnen, bei 30%. Damit kann also rekonstruiert werden, dass er vorher der Meinung war, die Wahrscheinlichkeit läge für beide bei 50%. Damit hat Akay also vorher eine Gleichwahrscheinlichkeit für beide Ereignisse empfunden bzw. vermutet, die durch die Untersuchung des Spieles widerlegt wurde. Auch in anderen untersuchten Lerngruppen wurde das Phänomen der anfänglich vermuteten Gleichwahrscheinlichkeit beobachtet (bspw. TF_1Z-4K_1S, Z. 295-304):

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
295 296 297	17:04	Anastasia	Also ich glaub schon dass das Spiel fair ist\ weil bei den Würfeln kann man ja nicht entscheiden welche Zahl oben liegt\
298 299 300	17:10	L	Das ist richtig\ das kann man nicht beeinflussen welche Zahl gewürfelt wird\ *(Andrej und Marcel melden sich)* Andrej/
301 302 303 304	17:15	Andrej	Ich glaub auch dass es fair ist . weil die kann ja nicht einfach . die kann **nur** mogeln . die kann eigentlich quasi nich mo mogeln- . nur wenn der Würfel zwei gleiche **Seiten** hat\

Durch die Widerlegung seiner Vermutung während der Untersuchung des Spieles hat Akay jetzt erkannt, dass die Wahrscheinlichkeit für die beiden Ereignisse unterschiedlich hoch ist <466-469> und ist zu der Erkenntnis gekommen, dass das Spiel deshalb als unfair bewertet werden muss <466>.

Wie genau Akay dabei auf diese spezifischen Prozentzahlen kommt, wird nicht ganz klar, da er nur auf die zweite Teilfrage der Lehrkraft antwortet <498> Da die Schüler:innen sich noch nicht mit Prozentrechnung beschäftigt haben, kann darauf geschlossen werden, dass Akay hier keine komplizierten Rechenwege angestellt hat, sondern Prozente aus dem Alltag als Angabe für Verhältnisse und Wahrscheinlichkeiten kennt und hier versucht, sie in diesem Sinne zu nutzen. Vermutlich hat er von der Veränderung in den absoluten Häufigkeiten auf die Veränderung in den relativen Häufigkeiten geschlossen und da vom ‚Bauchgefühl' her eine Steigerung von 20% vermutet. Es kann also festgehalten werden, dass Akay hier ein Verständnis für die Änderung des Verhältnisses der registrierten günstigen Würfelkombinationen zeigt, welche durch die (durch den Radiobeitrag angeleitete) Untersuchung anhand der Tabelle festgestellt wurde. Außerdem zeigt er ein Verständnis dafür, dass die Veränderung in den absoluten Häufigkeiten auch die relativen Häufigkeiten beeinflusst und damit auch die Gesamtbewertung des Spiels.

Schlussfolgerungen

Hörverstehen: Diese Sequenz zeigt anschaulich, wie durch die enaktive Rekonstruktion des Gehörten im Sinne des Nachspielens des Glückspieles sowie im Nachempfinden der einzelnen Schritte zur Untersuchung des Würfelspieles mit dem Hilfsmittel Tabelle zu einer größeren Verarbeitungstiefe geführt hat: Durch die Auseinandersetzung mit der Bedeutung des auditiv dargestellten Sachverhaltes, konnte das in Kap. 3.2.2 beschriebene „Involvement" erreicht werden (Mattstedt & Apel, 2012, S. 376). An der Tabelle konnte das Verhältnis der Würfelkombinationen erkannt und abgelesen werden. Das Zusammentragen der Ergebnisse konnte zur Sicherung einer gemeinsamen Wissensbasis beitragen. Auch dienen Tabelle und Notationen als sprachliche Orientierung für die verständliche Kommunikation der Ergebnisse. Dabei lässt sich beobachten, dass einige Kinder eher persönlich und situativ auf der Spielebene argumentieren und andere – angeleitet durch die Ausführungen des Radiobeitrages – die Bewertung des Würfelspiels durch eine eher sachlich-differenzierte mathematische Beschreibung (Kap. 5.1.5) angehen.

Fachbezogene Bildungssprache: In dieser Sequenz werden durch die enaktive Rekonstruktion des Gehörten verschiedene Lernprozesse angeregt. Zum einen zeigt sich sowohl durch die Interaktion als auch in den Schülerdokumenten der selbstständige Versuch einer sprachlichen Abgrenzung verschiedener Begriffe von Seiten der Schüler:innen. Durch den Gebrauch der Begriffe ‚Möglichkeiten' und ‚Versuche' (Abb. 45) werden verschiedene Klassen von Ergebnissen in eigenen Worten unterschieden. Ähnliches wurde für die Begriffe „wahrscheinlicher" <478> und „eher" <455> beobachtet. Zum anderen wird der Prozess einer gemeinsamen Aushandlung und Begründung der Bewertung des Glücksspiels sichtbar. Die Schüler:innen gehen unaufgefordert und selbstständig aufeinander zu und gehen mit selbstbestimmtem Fokus der Ursprungsfrage nach, ob das Spiel fair ist, und beantworten diese anhand der Ergebnisse aus der Untersuchung sowie anhand von eigener Beobachtungen oder mathematischer Vermutungen. Dabei werden die Ursache und die Bewertung bzw. Wirkung verständlich und korrekt in Beziehung zueinander gesetzt, sowie das Verhältnis der Gewinnchancen und dessen Bedeutung trotz einiger sprachlicher Schwierigkeiten durchdrungen und beschrieben. Am Beispiel von Akays Ausführungen zeigt sich, dass die Schüler:innen durch die vom Radiobeitrag angeleitete Untersuchung des Spiels von einer anfänglich vermuteten Gleichwahrscheinlichkeit für beide Ereignisse zur Feststellung gelangt sind, dass die Wahrscheinlichkeit für die beiden Ereignisse unterschiedlich hoch ist und das Spiel deshalb als unfair bewertet werden muss. Somit wurde das übergeordnete Lernziel der Unterrichtseinheit erreicht.

Analyse 04: Besprechung der Tabelle

Die folgende Interaktion setzte etwa 20 Minuten später ein. In diesen 20 Minuten wurde eine weitere Sequenz der Radiosendung abgespielt, in welcher die Protagonist:innen von ihrem Mathematiklehrer einen weiteren Schritt zur Untersuchung des Glücksspieles erklärt bekommen und diesen durchführen. Analog dazu sollten auch die Schüler:innen diesen Untersuchungsschritt durchführen, dazu eine Tabelle mit allen möglichen Würfelkombinationen anlegen und die Kombinationsmöglichkeiten für die Ereignisse Pasch und Straße markieren. Nachdem die Ergebnisse der ausgefüllten Tabelle besprochen wurden (Kap. 5.1.7; Analyse 03), spielte die Lehrkraft als Anstoß zur Ergebnissicherung die nächste Sequenz der Radiosendung ab (MF, Z. 181-213):

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
606 607 608 609	28:32	L	so\ bevor wir uns jetzt weiter mit der Idee von Laurenz beschäftigen\ möchte ich gerne erstmal von euch noch wissen was jetzt in dem Beitrag noch erzählt wurde *(4 Sek.) (Nora, Tarik und Jannik melden sich)* Nora\
610 611 612 613	29:07	Nora	also die Kinder ham halt herausgefunden\ das ehm- das es doch wahrscheinlicher ist dass die Straße gewürfelt wird weil in der Tabelle zehn mal Straße war und nur sechs mal Pasch\
614	29:21	L	genau/ *(Tarik meldet sich)* Tarik/
615 616 617 618	29:23	Tarik	und die ham ehm Mathematiker nachgefragt und die ham gesagt den ein Glücksspiel muss ehm is fair wenn beide Teams ehm- gleich so wahrscheinlich ehm Chancen zu gewinnen haben\

Im Sinne eines Wirkungsgespräches oder Verständnisüberprüfung regt die Lehrkraft eine Wiederholung und Elaboration des Gehörten an <606-609>. Die Formulierung „was jetzt in dem Beitrag noch erzählt wurde“ <608> könnte zum einen den Fokus weg von den mathematischen Inhalten hin zur Rahmengeschichte lenken und zum anderen eine Berufung auf Autorität (den Beitrag) implizieren. Da die Schüler:innen inzwischen durch die Erprobung selbst Expert:innen geworden sind, wäre das Ziel, dass sie die Informationen aus dem Beitrag nicht nur wiedergeben, sondern mit ihren eigenen Erfahrungen und Erkenntnissen kritisch abgleichen.

Nora wird drangenommen und antwortet, dass die Protagonist:innen des Beitrages herausgefunden haben, „das ehm- das es doch wahrscheinlicher ist dass die Straße gewürfelt wird weil in der Tabelle zehn mal Straße war und nur sechs mal Pasch\“ <610-613>. Dabei orientiert sie sich sowohl sprachlich als auch in Bezug auf die Argumentationsstruktur an den Äußerungen der Protagonist:innen (Franka „es gibt sechsmal Pasch in der Tabelle und zehnmal Straße“ MF, Z. 190-192; Alina „doch mehr Möglichkeiten“ MF, Z. 193), was als erfolgreiches Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002) gewertet werden kann. Sie gibt den ersten Teil der Sequenz damit korrekt wieder und zeigt Kompetenzen auf der Stufe des detaillierten und globalen Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61): wichtige Details, die für die Klärung der übergeordneten bzw. globalen Frage des Beitrages relevant sind, werden aus der Sequenz herausgefiltert. Dabei dreht sie die Reihenfolge der Informationen des Beitrages um und baut ihre Argumentationsstruktur so auf, dass sie zuerst die Erkenntnis nennt und dann mit dem beobachteten Phänomen begründet. Durch das „doch“ <611> impliziert sie den Erkenntnismoment der Hypothesenprüfung bzw. das Widerlegen der Hypothese. Zuerst wurde vermutet, es wäre wahrscheinlicher den Pasch zu würfeln, nach der Prüfung dieser Hypothese stellt sich heraus, dass es „doch wahrscheinlicher ist das die Straße gewürfelt wird“ <611>.

Damit spiegelt sie vermutlich auch ihren eigenen Erkenntnisprozess durch die Untersuchung des Würfelspieles wider, da die genannten Anzahlen der Kombinationsmöglichkeiten den selbst erarbeiteten Anzahlen in ihrer eigenen Tabelle entsprechen.

Die Lehrkraft bestätigt Nora und nimmt Tarik dran <614>. Dieser ergänzt Noras Äußerung mit der Wiederholung der Aussage des Mathematikers: „ein Glücksspiel muss ehm is fair wenn beide Teams ehm- gleich so wahrscheinlich ehm Chancen zu gewinnen haben\“ <616-618>. In der Chronologie des Beitrages bleibend geht Tarik von der Beobachtung des Spieles und der Erkenntnis, dass dieses unfair ist, über zu der Klärung der Bedingungen, die ein Spiel fair machen. Ebenso wie Nora zeigt er dabei Kompetenzen auf der Stufe des detaillierten und globalen Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) und filtert wichtige Details, die für die Klärung der übergeordneten bzw. globalen Frage des Beitrages relevant sind, aus der Sequenz heraus. Gleichermaßen orientiert er sich sprachlich und in Bezug auf die Argumentationsstruktur an den Äußerungen der Audiosequenz: „Ein Mathematiker würde ein Glücksspiel als fair bezeichnen, wenn beide Spieler gleich viele Möglichkeiten hätten“ (MF, Z. 197-198). Ebenso wie im sprachlichen Vorbild oder Gerüst des Beitrages konstruiert er einen Konditionalsatz, der sich nur in wenigen Details von seinem sprachlichen Vorbild unterscheidet. Als interessantester Unterschied kann die Beschreibung der Bedingung aufgeführt werden: im Beitrag heißt es, beide Spieler bräuchten „gleich viele Möglichkeiten“ (MF, Z. 197-198) zu gewinnen. Tarik sagt, beide Teams bräuchten „gleich so wahrscheinlich ehm Chancen zu gewinnen“ <617-618>. Hier wird deutlich, dass er das Konzept der Fairness verstanden hat und somit Begriffswissen zu ebendiesem aufweist, auch wenn es noch Unklarheiten bzgl. untergeordneter Begriffe gibt. Dies kann man ihm an dieser Stelle jedoch nicht zum Vorwurf machen, da die Begriffe im Beitrag selbst teilweise synonym genutzt wurden. Er startet damit zu beschreiben, dass ein faires Spiel gleich wahrscheinliche Ereignisse haben müsste. Da er aber mit dem Subjekt „Teams“ <617> angefangen hat, muss er seine Satzstruktur und somit die Begrifflichkeit ändern: die Teams können nicht gleich wahrscheinlich sein, auch wenn diese Formulierung passend wäre, um ein faires Spiel zu beschreiben. Nach einer kurzen Pause des Überlegens korrigiert er sich selbst und erklärt, dass beide Teams gleich viele Chancen zum Gewinnen benötigen. Diese Korrektur kann als rein grammatikalische Korrektur angesehen werden, wobei Tarik gekonnt ein Synonym zu den im Beitrag genannten „Möglichkeiten“ (MF, Z. 197-198) findet, welches als das benötigte Akkusativobjekt genutzt werden kann. Es kann angenommen werden, dass ihm bewusst ist, dass der Sachverhalt durch beide Begriffe beschrieben werden kann und er daher an dieser Stelle keine inhaltliche Korrektur vornimmt. Die inhaltlich korrekte Nutzung der Begriffe und

die eloquente grammatikalische Anpassung an die begonnene Satzstruktur weisen zum einen auf erfolgreiches Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002) hin und zum anderen auf das Erreichen der Stufe des integrierten Begriffsverständnisses (Vollrath, 1984). Tarik benutzt zwar nicht den gleichen Wortlaut wie die Sprecherin des Beitrages, jedoch zeigt die Tatsache, dass er den Sachverhalt in eigenen Worten wiedergeben kann (vielleicht sogar besser oder verständlicher als im Beitrag), dass er das Konzept verstanden hat und die Begrifflichkeiten nicht nur einseitig nutzen kann, sondern über eine Vorstellung verfügt, die ihn dazu befähigt, flexibel in der Versprachlichung zu sein.

Im Beitrag wird die Erklärung des Begriffs ‚fair' außerdem beispielhaft anhand des spezifischen Würfelspiels deutlich gemacht: „Bei diesem Spiel was wir gespielt haben, hat der, der Straße getippt hat eigentlich mehr Chancen, deshalb ist das Spiel eigentlich unfair – weil er mehr Chancen hat" (MF, Z. 198-201). Diesen beispielhaften Erklärungszusatz scheint Tarik nicht als notwendig zu empfinden. Dies zeigt, dass er das Konzept kontextentbunden begriffen hat und erklären kann.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
619 620 621	29:38	L	genau\ sehr gut\ … fällt euch noch was ein dazu/ *(8 Sek.)* okay was sagt ihr denn dazu/ *(Amelie meldet sich; L nickt ihr zu)*
622 623	30:00	Amelie	also **ich** find das Spiel jez auch u n f a i r aber- weils da nicht die gleichen Gewinnchancen gäb\
624	30:07	L	hm\
625	30:07	Amelie	gibt\

Die Lehrkraft bestätigt seine Äußerung, lobt ihn und fragt in die Runde, ob noch jemandem etwas einfällt <619>. Nach einer längeren Pause, die sie wohl als Verneinung interpretiert, ändert sie ihr Vorgehen und fragt stattdessen: „okay was sagt ihr denn dazu/" <620>. Auf diese Weise sind die Kinder aufgefordert, im Sinne der kritische Mediennutzung (Hessisches Kerncurriculum, 2011, S. 8) oder der Medienkritik nach Baacke (1996) zu der im auditiven Medium präsentierten Argumentation Stellung zu beziehen.

Amelie meldet sich, wird durch Nicken drangenommen und sagt: „also **ich** find das Spiel jez auch u n f a i r aber- weils da nicht die gleichen Gewinnchancen gäb\" <622-623>. Sie gibt also die Wertung ab, dass sie das Spiel jetzt auch für unfair befindet. Da noch keiner ihrer Vorredner:innen dieser Sequenz diese Wertung abgegeben hat, kann angenommen werden, dass sie sich mit dem „auch" <622> an die Protagonist:innen der eben gehörten Audiosequenz anschließt („Fair würde man das Spiel damit dann wohl kaum nennen, meint Alina" (MF, Z. 195-196). Durch das Partikel „jez" <622> kann davon ausgegangen werden, dass Amelie das Spiel vor der Untersuchung des Spieles für fair gehalten hat und jetzt im Sinne von

inzwischen bzw. nach der Untersuchung umgestimmt worden ist. Nachdem sie sich durch die gedehnte Aussprache des Wortes „u n f a i r“ <622> etwas Zeit erkauft hat und eine Selbstkorrektur bzgl. der richtigen Konjunktion vorgenommen hat, begründet sie ihre Wertung mit den unterschiedlichen Gewinnchancen, die sie durch die Erprobung herausgearbeitet haben. Vor der Untersuchung wird sie das Spiel vermutlich intuitiv und subjektiv als fair eingeschätzt haben. Durch das Auflisten der Kombinationsmöglichkeiten und die Erkenntnis, dass hier ein Verhältnis von 10:6 möglichen Kombinationen für die Straße vorliegt, kann sie nun schlussfolgern, dass für die beiden Ereignisse „die gleichen Gewinnchancen“ <623> nicht vorliegen, wodurch das Spiel unfair wird. Sie hat damit also die wichtigste Erkenntnis der Untersuchung zusammengefasst und gleichzeitig die übergeordnete Frage der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* beantwortet.

Schlussfolgerungen

Hörverstehen: In der analysierten Interaktion werden durch das Wirkungsgespräch und die Verständnisüberprüfung Kompetenzen auf der Stufe des detaillierten und globalen Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) sichtbar. Es werden wichtige Details, die für die Klärung der übergeordneten Frage des Beitrages relevant sind, aus der Sequenz herausgefiltert. Angeregt durch die Lehrkraft werden außerdem im Sinne der kritischen Mediennutzung (Hessisches Kerncurriculum, 2011, S. 8) oder der Medienkritik nach Baacke (1996) zu der im auditiven Medium präsentierten Argumentation Stellung bezogen, die Aussagen der Protagonist:innen mit eigenen Erfahrungen und Erkenntnissen kritisch abgeglichen sowie eigene Schlüsse gezogen.

Fachbezogene Sprachbildung: In ihren Äußerungen orientieren sich die Schüler:innen sowohl sprachlich als auch in Bezug auf die Argumentationsstruktur an den Äußerungen der Protagonist:innen, was als erfolgreiches Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002) gewertet werden kann und auf das Erreichen der Stufe des integrierten Begriffsverständnisses (Vollrath, 1984) hindeutet. Die Schüler:innen können das gelernte Begriffswissen in eigenen Worten wiedergeben sowie Konzepte, eigene Vorstellungen und Erkenntnisse flexibel beschreiben. Durch das Zusammenfassen der wichtigsten Erkenntnis der Untersuchung können die Lernenden im Sinne des Lernzieles die übergeordnete Frage der Radiosendung *Wann ist ein Spiel fair?* beantworten.

Analyse 05: Partnerarbeit am Glücksrad

Die folgende Interaktion schließt an die Rezeption des letzten Audiobeitrages an, in dem einer der Protagonist:innen ein alternatives Würfelspiel vorstellt, welches – im Gegensatz zum eben untersuchten – fair sein soll (MV, Z. 214-234). Dies wurde zum Anlass genommen, um die Schüler:innen weitere Zufallsexperimente analog zur vorangegangenen Untersuchung auf ihre Fairness bzw. ihre Gewinnchancen hin überprüfen zu lassen.

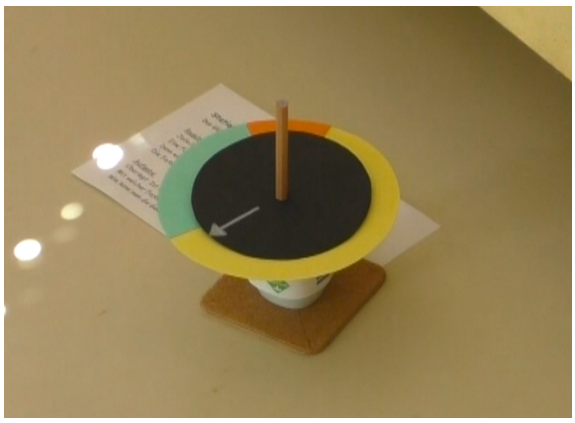


Abbildung 49: Materialien an der Station „Glücksrad 1“

Kiara und Alice befinden sich an der Station „Glücksrad“ an der sie ein Aufgabenblatt und ein asymmetrisches Glücksrad vorfinden (Abb. 49). Zu Beginn der Interaktion liest Kiara die Aufgabenstellung auf der Stationskarte vor.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
18 19 20	07:45	Kiara	*(liest vor, was auf der Stationskarte steht)* Jeder von euch sucht sich eine Farbe von dem Glücksrad aus eine Farbe bleibt übrig dann wird das Glücksrad gedreht%#
21	07:55	Alice	#Ich nehm gelb#
22	07:56	Kiara	#Du nimmst gelb dann nehm ich ähm grün
23	07:59	Alice	Okay .
24 25	08:01	Kiara	Dann dreh mal *(Alice dreht)* gelb – so dann hast du gewonnen#
26	08:07	Alice	#Das ist unfair#
27	08:08	Kiara	#Ja- weil die Flächen ja-#
28	08:10	Alice	#Das is‘ größer# *(zeigt auf den gelben Teil des Glücksrads)*

Die Kinder sollen sich eine Farbe auf dem Glücksrad aussuchen, mit der sie das Zufallsexperiment durchführen wollen <18-20>. Das Glücksrad besteht aus asymmetrisch verteilten Feldern in 3 verschiedenen Farben. Alice entscheidet sich für gelb <21>, Kiara für grün <22>, eine Farbe bleibt übrig <20>. Kiara weist Alice an zu drehen, was Alice befolgt, und stellt fest, dass die Nadel auf ein gelbes Feld zeigt, womit Alice gewonnen hat <24-25>. Obwohl Alice sich über ihren Erfolg freuen könnte, stellt sie im Sinne des Lernzieles der Stunde

(der Überprüfung der Fairness alternativer Zufallsexperimente) direkt fest: „Das ist unfair“ <26>. Damit könnte sie zum einen die Tatsache meinen, dass gelb getroffen wurde, oder aber auch das Glücksrad an sich. In jedem Fall hat sie korrekt erkannt, dass dieses Zufallsexperiment nicht als fair gewertet werden kann. Obwohl die Frage nach der Fairness noch nicht explizit vorgelesen wurde, scheint die Aufgabenstellung und das Stundenlernziel klar zu sein.

Kiara’s nächste Äußerung schließt direkt an die von Alice an. Sie bestätigt Alice’s Beobachtung und beginnt einen Kausalzusammenhang zu beschreiben: „Ja- weil die Flächen ja-“ <27>. Mit dem Begriff „Flächen“ <27> lenkt sie die Argumentation in die Richtung der geometrischen Wahrscheinlichkeit, die durch das Verhältnis des Flächeninhalts einer für das Ereignis günstigen Teilfläche (hier: der gelben Teilfläche) zum Flächeninhalt der möglichen Grundfläche beschrieben werden kann (hier: das gesamte Glücksrad). Man hätte auch über die Anzahl der Felder argumentieren können. Da das Glücksrad asymmetrisch ist, ist die Argumentation über die geometrische Wahrscheinlichkeit, die Kiara hier beginnt, jedoch der richtige Weg.

Ihre Stimme hängt kurz in der Schwebe und Alice übernimmt wiederum direkt anschließend mit einer Ergänzung des von Kiara angefangenen Kausalsatzes: „Das is‘ größer“ <28> wobei sie auf die gelbe Teilfläche des Glücksrades zeigt. Sie bleibt also bei dem von Kiara angeregten Aspekt der geometrischen Wahrscheinlichkeit, vergleicht die Flächen miteinander und kommt zu dem Schluss, dass die gelbe Teilfläche größer als die anderen Teilflächen ist. Dies ist für sie die Begründung für ihre Feststellung in <27>, dass das Spiel unfair ist. Es liegt an der Aufteilung bzw. dem Größenverhältnis der Flächen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
29 30 31 32	08:12	Kiara	#Ja weil da hat ja hier das Gelb dann mehr Chancen als orange- hat ja fast gar keine und grün- warte ich dreh nochmal vielleicht kriegt das - *(dreht am Glücksrad)* nee gelb# *(dreht nochmal am Glücksrad)*
33	08:21	Alice	#Weil da halt über die Hälfte der Fläche gelb ist#
34 35	08:24	Kiara	#Ja es ist halt unfair weil grün wenig orange hat ganz wenig und gelb ganz viel

Kiara übernimmt wieder und beginnt die Gewinnchancen der gelben Teilfläche zu beschreiben, auf die Alice eben gedeutet hat. Die Konjunktion „weil“ <29> zeigt, dass sie wieder versucht einen Kausalzusammenhang herzustellen – vermutlich zwischen der von Alice angesprochenen Größe <28> und der daraus resultierenden Gewinnchance: „Ja weil da hat ja hier das Gelb dann mehr Chancen als orange“ <29-30>. Sie bemerkt außerdem, dass Orange „fast gar keine“ <30> Gewinnchancen hat und möchte diesen Aspekt auch nochmal für die Farbe Grün überprüfen.

Der Ausdruck „mehr Chancen“ <29> kommt aus dem Radiobeitrag. Hier ist an mehreren Stellen von der „Chance“, ein bestimmtes Ereignis zu würfeln (MF, Z. 109,110), die Rede sowie von „mehr Chancen“ (MF, Z. 200, 201) oder „gleichen Chancen“ (MF, Z. 230). An dieses Scaffolding (Gibbons, 2002) scheint sich Kiara hier anzulehnen. Sie benutzt das im auditiven Medium eingeführte und im Unterrichtsgespräch gefestigte sprachliche Vorbild sicher und sinnvoll in ihrer Argumentation über die Fairness des Spiels.

Noch während sie dreht, wirft Alice wieder eine Ergänzung ein: „Weil da halt über die Hälfte der Fläche gelb ist“ <33>. Diese Äußerung stellt eine Präzisierung von Kiaras Begründung und eine Erklärung zweier von ihr genannten Aspekte dar: Die Teilfläche Gelb hat „mehr Chancen“ <29>, weil sie mehr als die Hälfte der Grundfläche einnimmt. Und die Teilfläche Orange „hat ja fast gar keine“ <30> Chancen, weil sie im Gegensatz zur Teilfläche Gelb nur weniger als ein Viertel der Grundfläche einnimmt. Auch die Teilfläche grün ist mit ca. einem Viertel der Grundfläche größer und hat somit „mehr Chancen“ <29>. Die geometrischen Verhältnisse sind hier gut erkannt und fachsprachlich korrekt und sicher benannt.

Kiara scheint die Ergebnisse der Aushandlung zusammenfassen zu wollen und ergänzt: „Ja es ist halt unfair weil grün wenig orange hat ganz wenig und gelb ganz viel“ <34-35>. Sie wiederholt nochmal die Erkenntnis, dass das Glücksrad unfair ist, und gibt als Begründung die geometrischen Verhältnisse der Teilflächen und/oder die daraus resultierenden Gewinnchancen an: die Teilflächen grün und orange haben „wenig“ <34-35> Fläche und somit „fast gar keine“ <30> Chancen, währen die Teilfläche gelb „ganz viel“ <35> Fläche und somit „mehr Chancen“ <29> hat. Auch wenn an dieser Stelle nicht ganz klar ist, ob Kiara von Flächen oder Chancen spricht (beide Möglichkeiten wären richtig), so gibt sie dennoch die Zusammenhänge der möglichen Ergebnisse korrekt wieder und kann aus diesen eine Schlussfolgerung und Bewertung des Spieles ableiten.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
43 44 45 46 47	08:50	Kiara	Okay (*liest die Aufgabenstellung vor)* Überlegt ist das Glücksrad fair mit welcher Farbe hat man die größte Gewinnchance – Ei gelb hat die größte Gewinnchance kann man erhöhen wenn jeder gleich - jede Farbe gleich viel Platz hat dann hat ja jede Farbe gleich viele Chancen
48	09:12	L	Genau also man müsste die Aufteilung ändern/ ne/
49 50	09:17	Kiara	Ja die Aufteilung müsste man ändern damit das Spiel fair ist

Nach einer weiteren Phase der Spielerprobung kommt die Lehrkraft an den Stationstisch hinzu und erinnert die beiden Schülerinnen an den zweiten Aufgabenteil, woraufhin Kiara nur den

ersten Teil der Aufgabenstellung vorliest. Den zweiten Teil liest sie nicht vor, gibt aber ohne zu zögern eine Antwort auf beide Teile der Aufgabe <45-47>. Als Antwort auf die erste Teilaufgabe wiederholt sie nochmal die Feststellung, dass das Ereignis Gelb „die größte Gewinnchance“ hat, und nutzt dabei den Begriff „Gewinnchance“ <45> aus der Aufgabenstellung. Auffällig ist hier, dass in der Aufgabenstellung nach der Farbe gefragt wird, mit der ‚man‘ die höchste Gewinnchance hat. Hier liegt die Chance also bei dem Spieler. Kiara formuliert ihre Antwort so, dass die Farbe zum Subjekt wird. Unabhängig von einem Spieler oder dem Spielkontext kann sie die objektive Angabe machen, dass ein Objekt (die Teilfläche Gelb) die „größte Gewinnchance“ <45> hat. In derselben Äußerung beantwortet sie anschließend die nicht vorgelesene Frage „Was müsste verändert werden, damit es fair wird?“. Hier gibt sie an, dass „jede Farbe gleich viel Platz“ <46-47> haben müsste, da dann alle Farben „gleich viele Chancen“ <47> hätten. Sie argumentiert also im Sinne der geometrischen Wahrscheinlichkeit über das Verhältnis der Flächen zueinander. Sind alle Teilflächen gleich groß, haben sie alle die gleichen Gewinnchancen. Mit dem Beginn dieser Erklärung „kann man erhöhen“ <46> könnten also entweder die Gewinnchancen gemeint sein, die für die beiden anderen Farben erhöht werden, oder aber die Fairness, die für das gesamte Spiel erhöht bzw. gesichert wird. Zwar beginnt sie mit der Beschreibung eines Veränderungsprozesses, beendet den Satz aber mit der Beschreibung eines alternativen bzw. veränderten Zustandes, in dem das Spiel fair wäre. Dies ist ein grammatikalischer Unterschied, der jedoch nicht die Tatsache beeinträchtigt, dass Kiara das Konzept eines fairen Spieles verstanden hat und ausdrücken kann.

Trotzdem scheint die Lehrkraft auch die angefangene Versprachlichung des Veränderungsprozesses vollenden zu wollen. Sie bestätigt Kiaras Vorschlag und fasst die Veränderung der Teilflächen zu diesem Endzustand zusammen <48>. Kiara geht auf die Ergänzung der Lehrkraft ein und passt ihre Antwort auf die Aufgabenstellung an: „Ja die Aufteilung müsste man ändern damit das Spiel fair ist“ <49-50>. Sie versteht also den Hinweis in der Äußerung der Lehrkraft auf die Beschreibung des Veränderungsprozesses und kann diese in ihre Argumentationsstruktur integrieren. Aus der Beschreibung des Zustandes gleich großer Teilflächen <46-47> wurde die Beschreibung der notwendigen Veränderung (Bedingung) <49-50>. Und aus der daraus resultierenden Folge („dann hat ja jede Farbe gleich viele Chancen“ <47>) wurde die Beschreibung des Zweckes („damit das Spiel fair ist“ <49-50>). Kiaras Antwort ist jetzt an die Satzstruktur der Frage („Was müsste verändert werden, damit es fair wird?“) angepasst und die Frage korrekt beantwortet. Man kann also davon ausgehen, dass auch die Aufgabenstellung als Scaffolding (Gibbons, 2002) genutzt wurde. Doch auch vor dieser sprachlichen Anpassung hat sie schon gezeigt, dass sie das Konzept der Fairness und den

Zusammengang zwischen dem Verhältnis der Teilflächen und den Gewinnchancen durchdrungen hat.

Nach einer kurzen Intervention der Lehrkraft beginnen die Schüler:innen ein weiteres Glücksrad zu untersuchen, zu dem Kiara die Aufgabenstellung vorliest <55-57>. Es handelt sich wieder um ein asymmetrisches Glücksrad – diesmal jedoch nur mit zwei Farben als mögliche Ereignisse.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
55 56 57	09:41	Kiara	So *(liest die Aufgabenstellung vor)* Jeder von euch sucht sich eine Farbe aus- auf dem Glücksrad-/ Welche Farbe nimmst du/
58	09:47	Alice	Gelb#
59 60	09:48	Kiara	#Mir egal ich nehm‘ wieder grün . Dann dreh mal *(Alice dreht am Glücksrad)* Das is gelb
61	09:57	Alice	*(leise)* Das hat wieder mehr Chancen weils so groß ist#
62 63 64 65 66	10:03	Kiara	#Jetzt war’s grün- Also ich würde sagen es is‘ ´n bisschen unfair weil gelb wieder ´ne größere Fläche hat und grün ähm kleiner *(liest weiter vor)* Ist das Glücksrad fair welche Farbe hat die größte Gewinnchance wieso wie kann man die Chance erhöhen%- ähm gelb <hat mehr
67	10:20	Alice	<Wenn man gelb- äh wenn man grün halb macht
68	10:23	Kiara	Ja wenn man halbe gelb und halbe grün macht
69	10:27	L	Sehr gut#

Wieder ist es Kiara, die die Selbstorganisation in die Hand nimmt. Sie fragt Alice, welche Farbe sie wählen möchte <56-57> und gibt ihr die Anweisung zu drehen <59>. Als der Zeiger auf der gelben Teilfläche landet, sagt sie: „Das is gelb“ <60>, lacht und dreht das Glücksrad nochmal. Noch direkt anschließend an ihre Beobachtung, beginnt Alice eine leise Ergänzung, die jedoch fast in der Geräuschkulisse der Stationsarbeit und des sich drehenden Glücksrades untergeht. Über die Größenverhältnisse der beiden Teilflächen kommt sie zu dem Schluss, dass die größere Teilfläche Gelb „wieder mehr Chancen hat“ <61>. Neben dem Vergleich der beiden Teilflächen nimmt sie außerdem einen Vergleich zwischen den beiden erprobten Glücksrädern vor und erkennt, dass trotz anderer Farbaufteilung ein ähnlicher Vorteil für die Farbe Gelb vorliegt. Auch sie hat also den Zusammenhang zwischen dem Verhältnis der Teilflächen und den Gewinnchancen durchdrungen und nutzt das sprachliche Vorbild „mehr Chancen“ (MF, Z. 200, 201) sicher und korrekt. Da während sie sprach, der Zeiger durch die erneute Drehung auf der grünen Teilfläche gelandet ist, kommentiert Kiara dies <62> und ergänzt nach einer kurzen Pause ihre Einschätzung dieses Glücksrades. Analog zu der Einschätzung des ersten Glücksrades <27, 29-30> beginnt sie ihre Begründung mit den Größenverhältnissen der

Teilflächen und argumentiert damit im Sinne geometrischer Wahrscheinlichkeiten unter sicherem Gebrauch geometrischer Fachbegriffe <62-64>.

Anschließend liest sie die zweite Aufgabenstellung vor <64-66> und überlegt „ähm gelb <hat mehr“ <66> Da diese Antwort nur eine Wiederholung des schon gesagten ist, fällt Alice ihr ins Wort und erklärt: „<Wenn man gelb – äh wenn man grün halb macht#“ <67>. Sie geht also von der Teilfläche Grün aus und vergrößert diese mental, bis sie die Hälfte der Grundfläche einnimmt. Damit nimmt sie also eine Vorstellungshandlung im Sinne gedanklichen Bewegens vor (Weber, 2007). Da sie zuerst von der Teilfläche Gelb ausgeht, ihre Strategie dann aber wechselt, kann davon ausgegangen werden, dass der Veränderungsprozess der Vergrößerung einer Teilfläche für sie sinnvoller erscheint als die Verkleinerung einer Teilfläche – vermutlich weil bei der Verkleinerung einer Teilfläche eine Lücke in der Grundfläche entstehen könnte, mit der sie nicht umzugehen weiß (Welche Farbe hat diese Lücke? Wird sie automatisch grün? Bedeutet sie ein Loch?). Durch den Strategiewechsel und die mentale Vergrößerung der grünen Teilfläche entsteht eine lückenlose neue Anordnung der Teilflächen.

Kiara wirft ergänzend ein „Ja wenn man halbe gelb und halbe grün macht“ <68>, fasst damit beide möglichen Strategien zusammen und zeigt, dass die Richtung der Veränderung irrelevant ist, solange das Ergebnis eine 1:1 Aufteilung darstellt. Jede Teilfläche muss die Hälfte der Grundfläche abbilden. Damit zeigen beide Schüler:innen ein vertieftes Verständnis der geometrischen Wahrscheinlichkeit sowie Begriffswissen in Bezug auf Fairness und Gewinnchancen. Außerdem können sie durch Vorstellungshandlungen die Glücksräder mental manipulieren und zu geforderten Zuständen rekonstruieren.

Schlussfolgerungen

Fachbezogene Bildungssprache: An den vielen direkt aneinander anschließenden Äußerungen der beiden Mädchen, wird deutlich, dass hier eine angeregte Interaktion stattfindet, in die beide Interaktionspartner gleichermaßen aktiv und interessiert involviert sind. Das alternative Zufallsexperiment wird gemeinsam erprobt, bezüglich seiner Fairness bewertet und durch gemeinsame Aushandlung eine Begründung sukzessive entwickelt und präzisiert. Dabei werden sowohl sprachliche Vorbilder des auditiven Mediums verwendet (mehr bzw. weniger Chancen) als auch aufgabenspezifische fachsprachliche Mittel aus dem geometrischen und arithmetischen Bereich (Fläche, Hälfte), die für die Beschreibung der geometrischen Wahrscheinlichkeit benötigt werden. Da die Notice- und Intake-Strategien bzgl. der hier genutzten Begriffe zeitlich teilweise mehrere Unterrichtsstunden zurück liegen, deutet die

eigenständige Nutzung und der sichere und flüssige Output auf ein integriertes Begriffsverständnis hin (Vollrath, 1984).

Ohne großer Aufforderungen oder dass explizit nach einer Begründung gefragt wurde, kommen die Schüler:innen direkt ins Bewerten, Begründen und Argumentieren. Die problemhaltige Situation in der Rahmengeschichte des Beitrages sowie das Schritt-für-Schritt-Nachempfinden der Untersuchung des Würfelspieles zu Beginn der Einheit scheinen dazu geführt zu haben, dass sich eine Argumentationskultur entwickeln konnte. Die Notwendigkeit der Überprüfung der Spiele scheint über die authentische Situation nicht nur akzeptiert, sondern auch in seiner Dringlichkeit angenommen worden zu sein. Wie selbstverständlich werden die Zufallsexperimente untersucht, Vermutungen aufgestellt und Begründungen formuliert. Dabei übernehmen die Schüler:innen sowohl die Argumentationsstrukturen des Beitrages als auch die sprachlichen Vorbilder. Als sprachliches Gerüst dienen in dieser Sequenz nicht nur die fachsprachlichen Formulierungen des auditiven Mediums, sondern auch die Aufgabenstellung an sich, die wiederum sprachliche Vorbilder des Mediums aufgreift. Die Aufgabenstellung dieser Sequenz stellt eine Transferaufgabe dar (Maier & Schweiger, 1999), bei der bereits Gelerntes auf neue Kontexte oder Aufgaben angewandt werden soll (andere Zufallsexperimente; geometrische Wahrscheinlichkeit statt Kombinatorik). Im gemeinsam anhand des Radiobeitrages erarbeiteten Würfelspiel war die Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten verantwortlich für höhere Gewinnchancen. Bei den Glücksrädern bestimmt die Größe der Teilfläche die Gewinnchancen. Analog zu der Untersuchung des Würfelspiels im Radiobeitrag wurden die Zusammenhänge der möglichen Ereignisse erkannt, zusammengefasst und daraufhin eine Schlussfolgerung bzw. Bewertung des Spiels abgegeben. Dass dabei Argumentationen unter Verwendung der gelernten Begriffe stattgefunden haben, kann als Zeichen für das Erreichen eines integrierten Begriffsverständnisses (Vollrath, 1984) gewertet werden. Weil die Arbeit mit dem auditiven Medium als Strategie auf den Stufen Notice und Intake des MRA-Models (Meaney et al., 2012) erfolgreich gewesen ist, können hier Strategien der Stufe Integrate genutzt werden, um dieses integrierte Begriffsverständnis herauszufordern und sichtbar zu machen.

Im Hinblick auf das Begriffsverständnis sowie den Gebrauch fachbezogener Bildungssprache lassen sich im Vergleich zu den Äußerungen der Schüler:innen zu Beginn der Unterrichtseinheit positive Entwicklungen feststellen. So wurde der Begriff *fair* zu Beginn der Unterrichtseinheit noch hauptsächlich mithilfe von Beispielen erklärt wie in der Beschreibung einer unfairen Aufteilung von Gummibärchen (TF_1Z_4K_1S Z. 234-238). Auch wurden

umgangssprachliche Umschreibungen bzw. Synonyme wie „gerecht“ als Definitionsansatz benutzt (z.B. „Fair ist wenn es gerecht ist\“; TF_1Z_4K_1S Z. 240).

Im Vergleich zu dieser Äußerung zeigen die Detailanalysen der Bearbeitung der Transferaufgaben zum Ende der Einheit hin also eine Erweiterung sowohl im Bereich des Begriffsverständnisses als auch bzgl. des Gebrauchs der fachbezogenen Bildungssprache. Über den Verlauf der Einheit bzw. durch die Erarbeitung anhand des auditiven Mediums wurden neue Fachbegriffe sowie Argumentationsstrukturen eingeführt, erarbeitet und vertieft. In Transferaufgaben, die nach Maier und Schweiger (1999) als sachbezogener Transfer eingeordnet werden können, in dem etwas Gelerntes in einem ähnlichen oder verwandten Kontext genutzt werden soll, nutzen die Lernenden Begriffe fachbezogener Bildungssprache sicher und korrekt. Dies zeugt davon, dass sowohl fachliches als auch sprachliches Lernen im Bereich der Stochastik stattgefunden hat. Durch den zeitlichen Abstand zwischen der Einführung der Begriffe durch das Medium und der hier untersuchten Transferleistung kann geschlussfolgert werden, dass auditive Lernmaterialien hier sowohl wissensvermittelnd als auch als sprachliches Vorbild zur Förderung der fachspezifischen Sprachbildung dienten.

8.3 Analyse der einzelnen Sequenzen – Einheit „Haus der Vierecke“

Nachfolgend werden die Analysen sechs repräsentativer Sequenzen aus der Unterrichtseinheit zur Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* abgebildet. Dazu werden jeweils die Zusammenfassung der Interaktionsanalyse sowie die daraus resultierenden Schlussfolgerungen dargestellt.

Analyse 06: Konvex und Konkav

In der Unterrichtseinheit zum Haus der Vierecke findet in der Einstiegsstunde die Erarbeitung der Begriffe *konvex* und *konkav* mithilfe des Radiobeitrages im Sinne einer Wortspeicherarbeit (Götze, 2015) statt. Dabei stellen die Attribute Umschreibungen zu bereits bekannten Vierecken dar, die im Sinne einer Begriffsnetz-Erweiterung zum Vorwissen dazu kommen. Nachdem zuerst das Vorwissen zu ebenen Figuren aktiviert wurde, führt die abgespielte Radiosequenz (MV, Z. 81-103) die Begriffe *konvex* und *konkav* ein:

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
627 628 629	00:30:32	L	okay. gut wer kann sich denn an die beiden Begriffe nennen/ *(Julia und Elias melden sich)* die mit dem Viereck zu tun haben und jetzt neu erklärt wurden/ … Markus/

Nach der Erstrezeption des Beitrages fragt die Lehrkraft zur Überprüfung des Hörverstehens bzw. zur Verständnisüberprüfung nach den beiden neu eingeführten Begriffen ohne diese zu nennen <627-629>. Die Frage ist ungünstig formuliert, da sie mit einem einfachen „Ich" beantwortet werden kann. Es mangelt also am Explizieren der Anforderungen und Erwartungen (Erath/Prediger, 2015). Vermutlich steckt hinter ihr der (misslungene) Ansatz einer offen gehaltenen Frage im Sinne sprachsensiblen Unterrichtes, die zur Nennung und Erklärung der beiden Begriffe und damit zu sprachlich komplexeren Antworten sowie dem Üben verständiger Sprachproduktion anregen soll (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 87f.). Trotz der ungünstigen Formulierung kann jedoch davon ausgegangen werden, dass den Schüler:innen aus der unterrichtlichen Praxis bewusst ist, dass bei der Beantwortung solcher Fragen meistens eine Erklärung erwartet wird. In jedem Fall wird das Wirkungsgespräch fokussiert und didaktisch gelenkt in die Richtung der Begriffe, die für den weiteren Unterrichtsverlauf relevant sind.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
630 631 632	00:30:43	Markus	e h konvexes Viereck/ also das ist so- da zeigen die- Ecken immer nach außen/ und konkav oder was war das / konkave/#
633	00:30:56	L	#war das konkav/ wissen die anderen da vielleicht weiter/#
635	00:30:58	Schüler:in	#ja
636 637	00:30:59	L	war das *(unv.)* war das konkav was der Markus da gehört hat das andere/
638	00:31:06	Markus	konkave Viereck glaub ich#
639	00:31:07	L	#mhm#
640	00:31:07	Markus	#weiß es nicht mehr

Markus wird drangenommen, nennt die beiden gesuchten Begriffe und gibt für das konvexe Viereck sogar eine Definition <630-632>. Seine Äußerung kann also als erwartungskonforme Antwort trotz unklarer Fragestellung der Lehrkraft gewertet werden. Aufgrund von Erfahrungswissen der Unterrichtskultur weiß Markus um die erwartete Wiederholung der Begriffe und Definitionen und eröffnet mit seiner Antwort das Zusammentragen wichtiger Informationen. Gefragt war nach Begriffen, „die mit dem Viereck zu tun haben und jetzt neu erklärt wurden/" <628-629>. Im gerade abgespielten Ausschnitt des Radiobeitrages wurden auch andere Begriffe genannt, die mit dem Viereck zu tun haben – wie ‚Quadrat', ‚Rechteck' und ‚Parallelogramm' oder auch ‚Boomerang' und ‚Navigationspfeil' als Beispiele für konkave Vierecke <607-617>. Trotzdem nennt Markus die beiden (viel sperrigeren) Begriffe *konvex* und *konkav*. Ihm scheint also klar zu sein, dass die Hauptintention dieses Ausschnittes die Klärung dieser Begriffe ist. Diese Leistung ist auf der Stufe globalen Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) zu verorten. Seine Definition für das konvexe Viereck („also das is so. da zeigen die Ecken immer nach außen/" <630-631>) ist nicht nur korrekt, sondern auch sehr nah am

Wortlaut der Definition des Radiobeitrages: „Konvexe Vierecke sind Vierecke, bei denen die Ecken immer nach außen zeigen“ (MV, Z. 88-89). Obwohl die Begriffe sowohl neu als auch schwierig auszusprechen und einander sehr ähnlich sind, gibt Markus sie bereits nach der Erstrezeption und ohne besonderen Hörauftrag korrekt wieder (dekliniert sie sogar korrekt) und kann zumindest für einen der beiden Begriffe die korrekte Definition wiedergeben. Die Stimmhebung kann zwar als Unsicherheit oder Absicherungsbedarf gedeutet werden, trotzdem stellt seine Antwort eine bemerkenswerte Leistung dar und kann als erfolgreiches detailliertes (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) und sinnverstehendes Zuhören gedeutet werden. Um die Tiefe des sinnverstehenden Hörverstehens zu bewerten, müssten Rückschlüsse auf das mentale Modell gemacht oder dieses nachfolgend weiter abgefragt werden.

Die Definition für das konkave Viereck kann Markus nicht mehr abrufen <640>, was am Primary-Recency-Effekt liegen könnte. Die zuletzt dargestellte (und wiederholte) Information war die Definition des konvexen Vierecks. Um Markus‘ Aussage zu vervollständigen, bezieht die Lehrkraft den Rest der Lerngruppe mit ein <633>. Dabei folgt sie mit der Äußerung „wissen die andern da vielleicht weiter/“ <633> als einem Sammeln von Schülerbeiträgen ohne sofortige inhaltliche Wertung einem weiteren Ansatz sprachsensiblen Unterrichts (Reber & Schönauer-Schneider, 2014, S. 51).

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
641 642 643 644 645 646 647	00:31:09	L	du hast absolut recht konkave Vierecke genau konvex und konkav . so du hast jetzt schon angefangen das konvexe so n bisschen zu erklären du hast gesagt die Ecken sind da so nach außen *(führt die Zeigefinger beider Hände zusammen)* wenn wir jetzt sagen da sind bei dem konvex die Ecken nach außen wie ist das denn mit dem konkaven/ kann sich da noch jemand dran erinnern/ Lena
648 649	00:31:26	Lena	ehm da sind die Ecken innen also eine Ecke in dem Viereck drinne
650	00:31:32	L	du sagst in dem Viereck/#
651	00:31:34	Lena	#also halt-#
652 653 654	00:31:34	L	#wie kann man sich das vorstellen/ kannst du dich vielleicht sogar noch an das Beispiel erinnern was da genannt wurde/
655 656	00:31:39	Lena	ja die haben halt irgendwie gesagt wie reingeboxt oder so also-# *(Simon meldet sich)*

Die Lehrkraft bestätigt und wiederholt Markus‘ Äußerung <641-642>. Dabei visualisiert sie die angesprochenen Ecken gestisch <644-645>. Um die fehlende Definition des konkaven Vierecks zu fokussieren, stellt sie folgende Frage: „wenn wir jetzt sagen da sind bei dem konvexen die Ecken nach außen % wie ist das denn mit dem konkaven/“ <645-647>. Aufgrund des irreführenden Wortlautes, könnte man hier falsch ratend antworten: „Da sind alle Ecken

nach innen.“ Bemerkenswert ist deshalb, dass Lena mit genau diesem falschen Ansatz beginnt <648> sich jedoch selbst korrigiert und die richtige Definition gibt: „also eine Ecke in dem Viereck drinne“ <648-649>.[27]

Durch diese Selbstkorrektur lässt sich schließen, dass Lena die Bedingung, unter der ein Viereck ein konkaves Viereck ist, tatsächlich verstanden hat. Dies zeugt von detailliertem und sinnentnehmendem Hörverstehen (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61).

Die Lehrkraft wiederholt Lenas korrekte Definition <650>, wodurch sie im Sinne sprachsensiblen Unterrichts den Interaktionsverlauf entschleunigt und so den anderen Schüler:innenn die Chance gibt mitzudenken. Mit der Frage nach der Vorstellungsebene versucht sie die Definition zu vertiefen und zu klären, was mit „in dem Viereck drinne“ <648-649> gemeint ist. Sie lenkt somit – ebenso wie der Ausschnitt der Sendung es vorgibt – von der mathematischen Definition zur mentalen Vorstellung hin. Mit dem Nachtrag in <652-654> gibt die Lehrkraft leider das Nennen eines Beispiels vor. Durch das „sogar“ <653> kann der Eindruck entstehen, ein Beispiel wäre hier besser als eine eigene Erklärung oder die Beschreibung einer Vorstellung. Trotzdem gibt Lena die im Beitrag genannte Erklärung („ja die haben halt irgendwie gesagt wie reingeboxt oder so also-“ <655-656>) wieder und nicht eines der genannten Beispiele (z.B. Boomerang (MV, Z. 95)). Nicht auszuschließen ist zwar, dass sie denkt „reingeboxt“ sei ein Beispiel, weil man sich diesen Zustand bzw. diese Zustandsveränderung so anschaulich wie ein Beispiel vorstellen kann. In jedem Fall gibt sie die operationale bzw. genetische Definition (Franke 2007, S.103f.) korrekt wieder und nutzt dabei das sprachliche Vorbild des Beitrages („wie nach innen geboxt“ (MV, Z. 96)) im Sinne des Scaffolding (Gibbons, 2002). Ihre erste Definition ist eindeutig statisch. Die zweite beschreibt zwar eine Zustandsänderung (dynamisch), gleichzeitig jedoch auch den Zustand nach dieser Änderung in Form des neuen Umrisses der Form. Die Nennung von gleich zwei möglichen Definitionen zeugt von Lenas Lagevorstellung und somit der erfolgreichen mentalen Visualisierung des Gehörten (Kap. 2.2.1).

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
657	00:31:43	Simon	#wie ein Pfeil#
658	00:31:44	L	#mhm ja/ . Simon
659	00:31:46	Simon	wie n Pfeil/
660	00:31:47	L	wie n Pfeil/#
661	00:31:49	Simon	#hatten die doch . oder ne wie n Boomerang

[27] Zu dieser Definition sei angemerkt, dass die Ecke natürlich nicht „in“ dem Viereck liegt, sondern Teil des Vierecks und seine Begrenzung nach außen darstellt. Der Beitrag nutzt die Formulierung der innen liegenden Ecke zur Unterstützung der mentalen Vorstellung.

Die Lehrkraft kommentiert Lenas Antwort nur mit einem „mhm“ <658> und nimmt dann Simon dran, der sich gemeldet und etwas reingerufen hat <657>. Das „ja/“ <658> muss hier nicht als Ausdruck eines Nachfragens oder Anzweifeln gesehen werden, sondern stellt schon Teil der Aufforderung an Simon dar, seine Antwort mitzuteilen, da sie hier schon in seine Richtung blickt. Simon wiederholt seinen Einwurf von <657> und antwortet damit auf die zweite Teilfrage der letzten Äußerung der Lehrkraft <653-654> nach dem Beispiel für das konkave Viereck - anders als Lena, die erklärend auf die erste Teilfrage nach dem Vorstellungsbild <652> geantwortet hat. Interessant ist, dass die Lehrkraft fälschlicherweise im Singular <653> spricht. Im Beitrag hingegen werden mehrere Beispiele genannt (Boomerang, Navigationspfeil, der Pfeil eines Kompasses, ein eckiges Herz (MV, Z. 95-99)). Dies könnte Simons Unsicherheit oder fragende Stimmhebung am Ende seiner korrekten Antwort („Wie n Pfeil/“ <659>) erklären. Während die Lehrkraft Simons Antwort wiederholt <660>, unterbricht dieser sie und korrigiert seine Antwort mit einem neuen – auch korrekten – Beispiel <661>. Die fragende Stimmhebung an Ende der Wiederholung der Lehrkraft <660> kann als anzweifelnde Nachfrage gedeutet werden oder aber auch als Ermutigung zur Nennung weiterer Beispiele. In Kombination mit ihrer irreführender Frage nach nur einem Beispiel interpretiert Simon diese Stimmhebung als Ablehnung seines Beispiels, weshalb er es verneint und korrigiert – wohlgemerkt ohne Zögern oder langes Überlegen, woraus sich schließen lässt, dass Simon mindestens diese beiden (wenn nicht sogar weitere) als Repräsentanten zum Begriff *konkav* abgespeichert hat. Unklar bleibt jedoch, welchen Pfeil er hier meint: den Navigationspfeil, den Pfeil eines Kompasses oder sogar den (nicht im Beitrag genannten) Pfeil, den man beim Bogenschießen nutzt. Um dies herauszufinden, hätte man Simon seinen Pfeil bzw. die Vorstellung davon erklären oder zeichnen lassen können.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673	00:31:51	L	Boomerang zum Beispiel aber du hast mit dem Pfeil das auch richtig gehört auf jeden Fall und Boomerang und wie so reingeboxt so/ jetzt habt ihr ja schon paar wichtige Sachen gesammelt also konvex hattet ihr gesagt die Ecken sind so nach außen das heißt wenn wir jetzt sagen bei nem konvexen Viereck sind die Ecken nach außen kennen wir da auch Beispiele/.. haben wir das schonmal gesehen/ *(4 Sek.)* was ist denn wenn ich zum Beispiel jetzt ein Rechteck habe/.. so Rechteck\ *(nimmt ein Blatt Papier)*. sieht das irgendwo aus als ob da irgendwelche ecken reingeboxt wären/ oder wie n Boomerang oder so/ *(David meldet sich)* Markus/
674	00:32:35	Markus	ne die sind so- sie sind gleichmäßig/
675 676	00:32:38	L	genau wenn wir jetzt die Ecken betrachten wenn wir jetzt sagen die Ecken würden irgendwo hinzeigen wo zeigen

677 678 679			denn die Ecken hin/ zeigen die nach innen oder zeigen die nach außen/ *(Simon, Yael, Julia, David und Markus melden sich)* .. David/
680	00:32:49	David	nach außen

Die Lehrkraft reagiert auf Simons Äußerungen bestätigend, verifiziert beide von ihm genannten Beispiele <662-663> sowie Lenas Erklärung „als ob das so reingeboxt wurde“ <663-664>. Weiterhin genannt war noch die Definition „eine Ecke in dem Viereck drine“ <648-649>. Es gibt also zu diesem Zeitpunkt drei unterschiedliche Arten von Beschreibungen (Beispiele und Definitionen) zum konkaven Viereck. Die Lehrkraft bemerkt anerkennend, dass schon mehrere wichtige Aspekte zusammengetragen wurden <644-666> und wiederholt als Überleitung zum konvexen Viereck die von Markus genannte Definition des konvexen Vierecks <630-631>, was im Sinne der Prinzipien sprachsensiblen Mathematikunterrichts wieder positiv zu bewerten. Als nächstes fragt sie nach Beispielen für das konvexe Viereck und konkretisiert diese Frage mit dem Zusatz „haben wir das schon mal gesehen/“ <668>. Als sich nach vier Sekunden noch kein Kind meldet, stellt sie die Richtung der Frage um. Sie gibt ein (einfaches) konkaves Viereck vor und fragt nach seinem Aussehen: „sieht das irgendwie so aus als ob da irgendwelche Ecken reingeboxt wären oder.. wie n Boomerang oder so/“ <669-672>. Dabei gibt sie als Unterstützung eine der genannten Beschreibungen sowie eines der genannten Beispiele des konkaven Vierecks vor.

Markus verneint die gestellte Frage. Interessant ist, dass er wie in <630-632> wieder mit einer Begründung nach der erwartungskonformen Verneinung antwortet. Theoretisch hätte man die Frage auch mit einer kurzen Verneinung oder einer Verneinung im ganzen Satz beantworten können. Praktisch bzw. aufgrund der Erfahrung der Unterrichtskultur ist Markus klar, dass hier auch eine Begründung verlangt wird und versucht sich in einer Beschreibung der Form konkaver Vierecke. Nach einer kurzen Pause des Überlegens und dem Suchen nach einem passenden Wort, gibt er also in eigenen Worten die knappe Beschreibung „sie sind gleichmäßig/“ <647>. Der Ausdruck ‚gleichmäßig‘, ist bisher weder im Beitrag noch im Unterrichtsgespräch vorgekommen, kann also als eigene Begriffsbeschreibung und Zeichen eines individuellen Begriffsbildungsprozesses gewertet werden. Markus versucht mit diesem Begriff zu beschreiben, dass das „normale“ Aussehen eines konvexen Vierecks nicht durch eine „reingeboxte Ecke“ gestört bzw. beschädigt ist und somit verändert in die für ihn anormale Form des konkaven Vierecks. Falls er sich gerade das von der Lehrkraft genannte Rechteck vorstellt, könnte die Gleichmäßigkeit weiterhin auch eine Beschreibung für Rechtwinkligkeit oder Eckenkongruenz sein. Spannend wäre es deshalb zu wissen, ob ein Parallelogramm für

Markus auch „gleichmäßig“ <647> wäre (was nur für die erste Deutung sprechen würde) oder nicht (dann würden beide Deutungen zutreffen). In jedem Fall findet er eine eigene Beschreibung für die Tatsache, dass bei konvexen Vierecken alle Ecken (gleichmäßig) nach außen zeigen. Im Sinne der Unterrichtsfachsprache (Tiedemann, 2015) vermischen sich hier die sprachlichen Register. Es geht weniger um korrekte Fachsprache als vielmehr um die Bedeutung (Leisen, 2013). Markus nutzt hier also seine individuelle ‚Sprache des Verstehens‘ (Wagenschein, 1968).

Diese Deutungsmöglichkeit scheint auch die Lehrkraft zu interpretieren, denn sie bestätigt nachfolgend Markus‘ Aussage und fragt nochmal spezifischer nach, ob die Ecken nach außen oder nach innen zeigen <675-678>, um die Beschreibung zu konkretisieren. David wird drangenommen und antwortet „nach außen/“ <680>. Seine Stimmhebung am Ende muss nicht unbedingt Unsicherheit bezüglich der Richtigkeit seiner Antwort bedeuten, sondern kann auch als Unsicherheit darüber gedeutet werden, was die Lehrkraft hören möchte, da er in <630-632> die Frage schon richtig beantwortet hat. Die Lehrkraft scheint an dieser Stelle im Sinne sprachsensiblen Unterrichts die neuen Begriffe für alle Lernenden festigen zu wollen und lässt aus diesem Grunde Begriffe sowie ihre Definitionen mehrfach von verschiedenen Kindern wiederholen. So auch in der nachfolgenden Interaktion mit Yael:

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
681 682 683 684	00:33:03	L	genau . also wenn wir jetzt zum Beispiel sagen ein Rechteck kennen wir/ zeigen die Ecken nach außen\ also wärs dann ein/ konkaves oder konvexes Viereck/ *(Yael meldet sich)* Yael/
685	00:33:05	Yael	konkaves/ *(Julia meldet sich)*
686 687	00:33:10	L	mal überlegen was wir gerade- da ist jetzt schwierig mit den zwei begriffen *(Julia und David melden sich)#*
688	00:33:10	Yael	*#(unv.)* dann konvex *(leise) (unv.)*
689 690	00:33:11	L	also ist fifty-fifty wenn ich sage ist nicht konkav dann wirds wahrscheinlich/#
691	00:33:15	Simon	*(kichert)#* ja klar
692 693 694 695 696 697 698	00:33:17	L	konvex sein ne/ genau . okay a b e r jetzt haben wir das schonmal geklärt jetzt haben wir aber ein Viereck das ist konkav wo wir gesagt haben da sind die Ecken nach innen kann sich denn jemand vorstellen wie das aussieht/ und kann das vielleicht sogar jemand hier vorne mal anzeichnen/ wie sowas aussehen könnte/# *(Lena und Julia melden sich) (4 Sek.)*

Die Lehrkraft gibt wieder in umgekehrter Richtung ein Viereck plus Beschreibung vor und fragt nach dem Begriff für diese Art von Vierecken, wobei sie beide möglichen Antworten vorgibt <681-683>. Yael antwortet fragend mit dem falschen Begriff <685>, woraufhin die Lehrkraft

sie auffordert, nochmal zu überlegen <686-687>. Da sie relativ schnell ihre Meinung ändert und ohne fragende Stimmhebung den anderen Begriff nennt <688>, kann davon ausgegangen werden, dass sie in <685> einfach geraten hat und nun aufgrund des Verhaltens der Lehrkraft sicher ist, dass der zweite Begriff der gesuchte bzw. erwartete ist. Auch die Lehrkraft scheint sich dessen bewusst zu sein, wie ihre Reaktion in <689-692> zeigt. Sie wiederholt deshalb noch einmal für alle die Definition des konkaven Vierecks <692-694> und leitet dann über zur Besprechung der mentalen Vorstellungen der Schüler:innen. Durch die Frage nach dem Aussehen sowie die Aufforderung zum Anzeichnen regt die Lehrkraft die Externalisierung von Vorstellungsbildern an <695-697>. Mentale Vorstellungen werden also sichtbar gemacht und können so besser besprochen werden (Kap. 2.2.1).

Spannend ist, dass die Lehrkraft hier fälschlicherweise formuliert, bei einem konkaven Viereck wären „die Ecken nach innen“ <694>. Es ist natürlich nicht möglich, dass alle Ecken nach innen zeigen. Sollten die Lernenden nachfolgend trotz dieser falschen Formulierung eine richtige Beschreibung abgeben, so kann geschlussfolgert werden, dass das Begriffsverständnisses durch den Radiobeitrag und die Erarbeitung im gemeinsamen Gespräch erfolgreich aufgebaut wurde.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
699	00:33:41	Julia	#ein konkaves/#
700	00:33:41	L	*#(unv.)* Julia/#
701	00:33:41	Julia	#also ich weiß es nicht ganz genau
702 703	00:33:43	L	du kannst ja mal einfach sagen oder überlegen was du oder sagen was du dir gedacht hast
704 705	00:33:48	Julia	also vielleicht e h m w i e so n Hausdach das so etwas dicker ist/
706	00:33:57	L	mhm kannst du das vielleicht sogar anzeichnen/#
707	00:33:59	Julia	#ja *(geht an die Tafel)*

Julia hat sich zwar gemeldet, leitet ihre Antwort aber mit einer Unsicherheitsbekundung ein <701>. Dies könnte daran liegen, dass es für diese Frage keine konkrete Antwort (richtig oder falsch gibt), da die eigene Vorstellung relativ ist und die individuellen Beschreibungen sehr unterschiedlich ausfallen können. Die Lehrkraft ermutigt Julia aus diesem Grund, einfach zu äußern, was sie denkt <702-703>. Sie scheint Julias Unsicherheit erkannt zu haben und entkräftet durch ihre Formulierung „was du dir gedacht hast“ <703> die Annahme, dass es eine richtige Antwort gibt. Es dürfen Überlegungen geäußert werden. Diese Ermutigung führt erfolgreich dazu, dass Julia versucht, ihr Vorstellungsbild in Worte zu fassen. Sie beschreibt, dass man sich das konkave Viereck vorstellen kann wie ein „Hausdach das etwas dicker ist/“ <704-705>. Ähnlich wie Markus‘ Begriff „gleichmäßig“ in <674> findet Julia hier eine

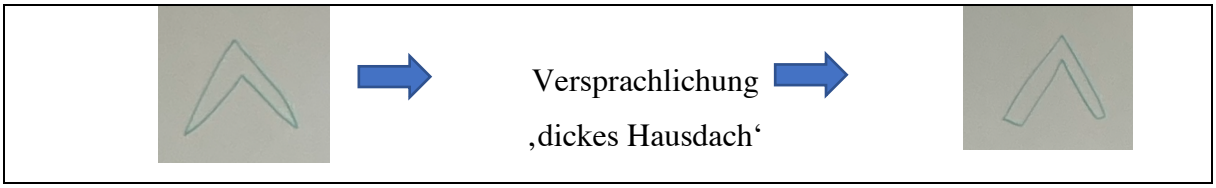
kreative neue Beschreibung, gibt eine individuelle Begriffsdefinition im Sinne der Unterichtsfachsprache (Tiedemann, 2015) oder der Sprache des Verstehens (Wagenschein, 1968) und versprachlicht damit auf überraschende und beeindruckende Weise ihre mentale Vorstellung eines konkaven Vierecks. Mit dem dicken Hausdach meint sie vermutlich den Ortgang eines Daches, der klassischerweise in Kinderzeichnungen in der Form eines umgedrehten „v" dargestellt wird. Ist dieser Ortgang etwas „dicker" <705> (also nicht nur ein Strich), scheint er für Julia die Kriterien einer Fläche bzw. einer ebenen Figur zu erfüllen, bei der eine Ecke nach innen zeigt. Der Begriff *dick* ist auch im Beitrag schon gefallen („dick wie von einem Kompass der Pfeil" (MV, Z. 97-99)). Das *Hausdach* jedoch ist ein neuer Begriff, der deshalb sowohl bezüglich Julias Vorstellung als auch bezüglich ihrer Fähigkeiten zur Versprachlichung ebendieser aussagekräftig ist. Ob der Ortgang, den sie sich vorstellt, an den unteren Ecken spitz zuläuft (dann wäre es tatsächlich ein konkaves Viereck) oder wie das realistische Vorbild unten abgeflacht ist, da die Kanten der Balken parallele zueinander laufen (dann wäre es ein konkaves Sechseck), erschließt sich aus ihrer Aussage zunächst nicht. Aus diesem Grund bittet die Lehrkraft Julia, ihre Vorstellung bzw. ihr Hausdach anzuzeichnen <706> und somit als Gesprächsgrundlage zu externalisieren.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
708 709	00:33:59	L	das wirs besser sehen können *(4 Sek.)* nochmal so *(leise)* *(6 Sek.) (Julia zeichnet an der Tafel)*
710	00:34:18	Julia	vielleicht so *(leise)* drin# 

Julia kommt nach vorne und zeichnet ihre Vorstellung an das Whiteboard <707-709>. Die Externalisierung ihres mentalen Bildes passt zu ihrer Beschreibung eines dicken Hausdachs <704-705> und der oben beschrieben Deutungsmöglichkeit eines Ortganges, der durch seine Breite eine Fläche darstellt und wie das realistische Vorbild unten abgeflacht ist. Julias Vorstellung ist also mathematisch nicht ganz korrekt, beinhaltet jedoch die nach innen gedrückte Ecke, durch die eine Figur zu einer konkaven Figur wird. Dass die Ecken unten nicht spitz sind, ist quasi ein Detailfehler – jedoch mit gravierenden Folgen, da er das Viereck zu einem Sechseck macht. Spannend ist deshalb, ob nachfolgend Julia selbst (oder ihren Mitschüler:innen) dieser Fehler auffallen wird.

Weiterhin spannend wäre die Frage, wie diese Fehlvorstellung zustande gekommen ist. Drei mögliche Gründe lassen sich hier nennen:

- Julia könnte die korrekte Vorstellung eines konkaven Vierecks gehabt haben. Der Versuch diese Vorstellung zu versprachlichen hat zu der individuellen Begriffsdefinition des ‚dicken Hausdaches' geführt und ist im Sinne der Unterichtsfachsprache (Tiedemann, 2015) oder der Sprache des Verstehens (Wagenschein, 1968). Bei der Übersetzung dieses Begriffes in eine ikonische Darstellung ist eine Zeichnung entstanden, die einem Hausdach ähnlicher sieht als die ursprüngliche Vorstellung eines konkaven Vierecks.



- Das konkave Viereck könnte durch das Zusammenführen der Seiten zu den spitzen Ecken unten schwieriger zu zeichnen sein als das konkave Sechseck mit seinen parallelen Seiten. Der Fehler wäre in diesem Fall durch die Herausforderung beim Anzeichnen entstanden.
- Oder Julia könnte von Anfang an die Fehlvorstellung eines konkaven Sechsecks gehabt haben.

In jedem Fall ist es sehr gut und hilfreich, dass durch die Externalisierung ihre Fehlvorstellung zum Vorschein gekommen ist und so korrigiert werden kann.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
711 712 713 714 715 716 717 718 719	00:34:20	L	#aha/ j a *(4 Sek.) (Julia setzt sich an ihren Platz)* also das war jetzt das sozusagen als Hausdach und hier unten drunter wäre sozusagen das Haus genau und wir sehen jetzt hier d i e Ecken/ *(zeigt auf die Zeichnung)*... wenn wirs jetzt so betrachten ist die Frage w o- sehen wir denn die Ecken/ ich mach das mal beziehungsweise ne sag mal anders rum wir sagen ja jetzt vier Ecken wo würdest du denn da jetzt die Ecken sehen/ *(13 Sek.) (Lena und Simon melden sich)* kann jemand helfen/ Lena/
720 721 722 723	00:35:11	Lena	#e h m also ich glaube man müsste das so machen das es unten nicht mehr so gerade ist sondern einfach dass das dann wieder ehm nach oben geht weil sonst sind es ja mehr Ecken als vier

Die Lehrkraft wiederholt Julias individuelle Begriffsdefinition (Wagenschein, 1968; Tiedemann, 2015) und erklärt, dass deshalb unterhalb ihrer Zeichnung das Haus ergänzt werden könnte <711-713>. Auf diese Weise kann die Zeichnung in ihrem Kontext auch für die anderen Schüler:innen verständlich werden. Auf diese hilfreiche Erklärung folgt die etwas verwirrend

gestellte Frage nach den Ecken der Figur <713-717>. Dass diese Frage die Kinder tatsächlich verwirrt hat, zeigt sich in der nachfolgenden langen Pause. Erst nach elf Sekunden meldet sich Lena und wird drangenommen.

Interessant ist, dass Lena – anstatt einfach auf die Frage nach der Anzahl der Ecken zu antworten – zwar indirekt bemerkt, dass „es ja mehr Ecken als vier“ <722-723> sind, dabei aber gleichzeitig auch schon eine Erklärung dafür gibt, wie man diesen Missstand ändern könnte <720-722>. Sie hat also nicht nur das Problem erkannt, dass Julias Figur kein Viereck ist, sondern kann auch im Sinne der Veranschaulichung als Teilkomponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens (Franke, 2007) eine mentale Rekonstruktion der Figur vornehmen und diese so verändern, dass ein konkaves Viereck entsteht: Wenn man das konkave Viereck bzw. den Ortgang unten nicht durch „gerade“ <721> Zwischenstrecken abflacht (wodurch die zusätzlichen Ecken entstehen), können die Seiten also direkt „nach oben“ <722> geführt werden. Die Figur verliert damit zwei von sechs Ecken und wird somit zum konkaven Viereck.

Diese Erkenntnis sowie sie Fähigkeit zur mentalen Rekonstruktion und der Versprachlichung ebendieser ist eine beachtliche Leistung – vor allem in Anbetracht der Tatsache, dass die Lehrkraft noch gar nicht soweit gefragt hatte. Lena zeigt durch diese Sprachhandlung, dass sie ein vertieftes Begriffsverständnis des konkaven Vierecks aufgebaut hat und ihr Begriffsverständnis schon für die Korrektur fehlerhafter Darstellungen nutzen kann. Die Korrektur wird geleitet durch die Entscheidung, dass das angezeichnete Viereck kein Beispiel für ein konkaves Viereck ist, sowie durch das Begriffsverständnis und korrekte Vorstellungsbild eines Prototypen für ebendieses (Franke, 2007).

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
724 725 726 727	00:35:23	L	genau wie viel Ecken hätten wir denn hier wenn wir jetzt hier gerade sagen wir würden nochmal gucken wie viel Ecken hätte es denn/ wo hätten wir denn hier Ecken/ *(Lena, Yael und Julia melden sich)* . Yael/
728 729	00:35:31	Yael	also es hat ja sechs Ecken und zwar unten oben und dann halt in der Mitte *(unv.)* und nochmal unten zwei
730 731	00:35:39	L	genau du sagst hier unten zwei weil/ wieso haben wir hier nicht eine Ecke/
732 733	00:35:45	Yael	weil das die Linie da gerade gezogen wurde und nicht direkt hoch gemacht wurde

Die Lehrkraft bestätigt zwar Lenas beeindruckende Erklärung, fragt dann jedoch wieder – recht kompliziert – nach der Anzahl der Ecken in der von Julia gezeichneten Figur <724-726>. Yael wird drangenommen, gibt die richtige Antwort und stützt diese mit der Erläuterung, wo sie die Ecken vorgefunden hat <728-729>. Dabei schaut sie zwar Richtung Tafel, ist aber nicht so nah an der Darstellung dran, dass man hier von einem Abzählen am Bild sprechen kann. Ohne

Zeigegesten oder bemerkbare Blickbewegungen kann hier also ein mentales Abzählen vermutet werden. Sehr wahrscheinlich geht sie hierbei von außen „unten“ nach „oben“ an die Spitze, dann an die nach innen gedrückte Ecke „in der Mitte“ und von dort an die beiden inneren Ecken „unten“ <728-729>. Sie versprachlicht dabei ihren Prozess des mentalen Abzählens unter Verwendung mehrerer fachsprachlicher Ausdrücke (Ecken, oben, unten, Mitte).

Die Lehrkraft bestätigt sie und fragt vertiefend nach dem entscheidenden Unterschied, durch welches das konkave Viereck zu einem konkaven Seckseck wurde („wieso ham die nicht eine Ecke/“ <730-731>). Dabei meint sie mit der Ecke die beiden nach unten gerichteten „Enden“ der Figur. Yael antwortet auf diese Frage mit folgender Begründung: „Weil die Linie da grade gezogen wurde und nicht direkt hoch gemacht wurde“ <732-733>. Mit dem Ausdruck „gerade gezogen“ <732> meint sie hier die Tatsache, dass die „Linie“ <732> nicht von der äußeren Ecke direkt „schräg“ nach oben gezogen wurde, sondern zuerst eine kurze horizontale (also „gerade“ <732>) Strecke eingefügt wurde, von dessen Ende aus dann die Verbindung zur Ecke in der Mitte gezogen werden konnte. Auf diese Weise kommt sowohl eine Ecke als auch eine Seite hinzu. Die Formulierung ist sprachlich relativ elaboriert. Yael beginnt ihre Äußerung mit einer Kausalkonjuktion, geht also direkt auf die Frage der Lehrkraft <730-731> ein und begründet das Vorkommen der beiden zusätzlichen Ecken korrekt durch die Entstehung bzw. den Zeichenvorgang der Figur. Dabei hat sie – Julias Darstellung eines konkaven Sechsecks anschauend – die richtige Vorstellung eines konkaven Vierecks im Kopf. Andernfalls hätte sie ihre Ausführungen nicht so präzise formulieren können.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
734 735 736 737 738 739 740	00:35:49	L	genau okay aber/ .. was ist denn jetzt zum Beispiel hier mit der Ecke/ wir wolle ja mal gucken ob das jetzt konvex oder konkav ist auch wenns jetzt in dem Fall kein Viereck ist aber was wäre denn mit dieser Ecke/ hätten wir da jetzt zum Beispiel weil wir über die konkaven gesprochen haben hätten wir da hier ne- irgendwo eine konkave Ecke/ *(3 Sek.) (Lena meldet sich)* Lena/
741	00:36:15	Lena	ich glaube die die da so drinne ist
742	00:36:17	L	die hier/ *(zeigt auf die eingedrückte Ecke)*
743	00:36:17	Lena	j a/

Die Lehrkraft bestätigt Yaels Aussage und leitet von der Anzahl der Ecken zu der besonderen Ecke über, die die Figur zu einer konkaven macht <734-736>. Sie räumt dabei ein, dass diese Figur kein Viereck ist <736> und fragt, ob es in dieser Figur eine konkave Ecke gibt. Sowohl an dieser Stelle <739> als auch in <746; 748> spricht sie von einer „konkaven Ecke“ und benutzt damit einen Ausdruck, der so in der fachdidaktischen und fachwissenschaftlichen Literatur nicht verwendet wird. Vermutlich versucht sie einen kürzeren Ausdruck für die nach

innen gedrückte Ecke zu nutzen, der dieses Merkmal gleichzeitig sprachlich mit dem Objektbegriff „konkaves Viereck“ verbindet.

Lena antwortet auf die Frage nach der konkaven Ecke und identifiziert sie als die, „die da so drinne is/“ <741>. Dabei benutzt sie denselben Ausdruck den sie in <648-649> verwendet und mit <655-656> erklärt hat. Dieser Ausdruck baut auf dem Scaffolding des Beitrages („eine Ecke so nach innen gedrückt“ (MV, Z. 95-96)). Sie nutzt keine Zeigegeste, sondern vertraut auf die sprachliche Präzision und Eindeutigkeit ihrer Aussage. Die Nachfrage inklusive Zeigegeste der Lehrkraft <742> bestätigt sie <743>, wodurch die Lokalisation der konkaven Ecke als Wissensbasis für die gesamte Lerngruppe gesichert ist.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
744 745 746 747 748 749 750	00:36:17	L	J a absolut/ so nach innen gezeigt ne/ .. okay . so jetzt haben wir aber das hier und wir haben gesagt wir haben auf jeden Fall hier ne konkave Ecke können wir aber das hier/ was die Julia gemalt hat zu einem Viereck umbauen sag ich mal und trotzdem ne konkave Ecke haben/ *(Lena und Yael melden sich)* Yael möchtest du mal/ *(6 Sek.) (Yael geht an die Tafel) (5 Sek.)*
751	00:36:56	Yael	*(zeichnet an die Tafel)* so *(unv.)* 
752 753 754	00:36:56	L	genau/ .. *(Yael setzt sich an ihren Platz)* haben wir denn jetzt vier Ecken/ .. *(Lena meldet sic*h) sind wir da alle mit einverstanden/ Markus
755	00:37:06	Markus	J a

Die Lehrkraft wiederholt Lenas Verortung der Ecke, nutzt dabei aber die Formulierung einer Ecke, die „so nach innen zeigt“ <744>. Lena sprach von einer Ecke die „so drinne is“ <741>. De facto zeigt eine Ecke nirgendwo hin. Und wenn doch, dann könnte die obere Ecke ebenso als zeigende Ecke gesehen werden, da sie – im Bild des Pfeiles gesprochen – die richtungsanzeigende Spitze darstellt. Diese Problematik bleibt jedoch unbemerkt und es wird übergeleitet zur Veränderung der angezeichneten Figur zu einem konkaven Viereck <746-748>. Die Lehrkraft nutzt hier die Formulierung „umbauen“ <747>, man könnte also die vorhandene Figur verändern. Yael versteht die Formulierung jedoch als Anzeichnen eines neuen Viereckes. Das „Umbauen“ <747> hat im Sinne der Veranschaulichung als Teilkomponenten des räumlichen Vorstellungsvermögens (Franke, 2007) in ihrer Vorstellung stattgefunden wie sie in <732-733> schon erläuterte. Nun präsentiert sie durch ihre

angezeichnete Figur die Externalisierung ihres mentalen Bildes, welches nicht nur zu ihren Erläuterungen passt, sondern auch mathematisch korrekt ist.

Zu diesem Zeitpunkt sind also zwei Visualisierungen an der Tafel angezeichnet. Eine Fehlvorstellung des konkaven Vierecks (konkaves Sechseck) und eine korrekte Darstellung des konkaven Vierecks, welches aus der Korrektur der Fehlvorstellung gewonnen wurde. Durch die Fragen an den Rest der Klasse <752-754> sichert die Lehrkraft das bis hierhin Erarbeitete als gemeinsame Wissensbasis.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
756 757 758 759 760 761 762	00:37:06	L	Joa ne/ . sieht gut aus also das war schon gar nicht falsch das war n richtig guter Ansatz und wir haben jetzt sozusagen nochmal n bisschen umgebaut und haben da jetzt vier Ecken draus gemacht aber wir haben ne konkave Ecke drin super/ .. gibt es denn vielleicht sogar noch ne Idee für n konkaves Viereck außer das jetzt vielleicht hat ja sogar jemand noch mehr Ideen/# *(Yael meldet sich)*
763	00:37:33	Yael	#ich hab mir was anderes vorgestellt#
764 765	00:37:34	L	#Yael/ . j a/ willst dus uns erstmal erklären und dann anzeichnen/
766 767 768 769 770	00:37:38	Yael	Also ich hab da ich hab mir so vorgestellt das eher so mh ne Art von Viereck *(zeichnet in der Luft eine U-Form)* nur eine Seite gibt dann halt *(zeichnet die obere Seite)* und der dann so nach unten *(zeichnet ein V)* nee geht ja nicht *(lässt die Hand fallen)* das wär ja dann n Fünfeck *(lacht)*
771 772 773	00:37:54	L	okay du sagst gerad Fünfeck . aber überleg nochmal weil ich habs gerade nicht sags mal ein bisschen lauter weil ich habs gerade nicht genau verstanden#
774 775 776 777 778 779	00:38:18	Yael	#also ich hatte mir eigentlich vorgestellt dass es vielleicht so wie s o n- wie soll man das erklären/.. also wenn man so n Viereck halt also wenn man so n Quadrat malt das dann halt oben was fehlt und dann so und dann eigentlich so runter geht.. aber dann wären es ja fünf Ecken# *(macht die gleichen Bewegungen mit der Hand wie in <766-769)*
780	00:38:18	L	#mhm#
781	00:38:19	Yael	#das geht ja jetzt auch nicht#

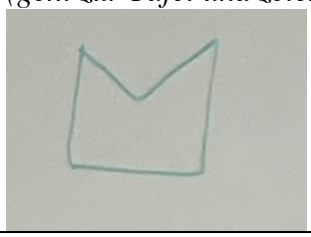
Das Vorgehen des Umbauens wird nochmal – etwas umständlich – wiederholt <756-760> und nach weiteren Darstellungsmöglichkeiten „Ideen“ für das konkave Viereck gefragt <760-762>. Dass hier keine weiteren Beispiele, sondern Visualisierungen gefragt sind, wird durch das „außer das jetzt/“ <761> deutlich. Yael wirft ein, dass sie sich was anderes vorgestellt hat <763> und zeigt damit, dass sie die eigene mentale Vorstellung mit der von ihren Mitschüler:innen angezeichneten vergleichen und die Unterschiede reflektieren kann. Die Lehrkraft geht auf ihren Einwurf ein und schlägt ihr vor, die Vorstellung erst zu erklären und

dann anzuzeichnen <764-765>. Auf diese Weise gibt sie zwar eine sprachliche Herausforderung, gleichzeitig aber auch den Ausblick auf die Entlastung einer visuellen Unterstützung des zu Erklärenden, falls der oder die Erklärende an seine sprachlichen Grenzen kommt.

Yael beginnt mit der Beschreibung der Entstehung eines konkaven Vierecks durch dynamische Veränderung einer Figur. Sie geht dabei von einem Viereck aus <767>, bei der die obere Seite nach unten hin nachgibt oder wie im Beitrag eingedrückt wird und dabei zu einem „v“ wird <768-769>. Ihre Erläuterungen unterstützt sie mit gestischen Darstellungen der dynamischen Veränderungen. Interessant ist hier, dass Yael die Seite im Sinne eines gedanklichen Bearbeitens (Weber, 2007) eindrückt, im Beitrag wird davon gesprochen, dass eine Ecke eingedrückt ist (MV, Z. 95-96). Für das Eindrücken einer Seite zu einer eingedrückten Ecke müsste man von einem Dreieck ausgehen, da durch das Eindrücken der Seite eine zusätzliche Ecke entsteht. Diese Problematik erkennt auch Yael, wobei die sofortige Erkenntnis sowie der eloquente sprachliche Ausdruck „Fünfeck“ <770> bemerkenswert erscheinen. Ihre Gesten sind zwar flüchtig, zeugen aber davon, dass sie über ein mentales Bild verfügt, an dem sie mentale Handlungen vornehmen kann (Franke, 2007; Weber, 2007).

Die Lehrkraft bittet in <771-773> um eine Wiederholung des Gesagten, was daran liegen könnte, dass die Kinder aufgrund der pandemischen Situation Masken tragen und sie sichergehen möchte, dass alle Kinder diese Information akustisch mitbekommen. Auch möglich wäre, dass die Lehrkraft diese besonders spannende Erklärung nochmal inhaltlich für alle wiederholt haben möchte. Ihre Begründung „weil ich habs nicht so gut verstanden“ <772-773>) könnte in diesem Fall nicht als akustisches, sondern als inhaltliches Problem gedeutet werden.

In der Wiederholung ihrer Erklärung <774-779> versucht Yael ihre sprachliche Äußerung zu präzisieren, was darauf schließen lässt, dass sie die Nachfrage der Lehrkraft als inhaltliches Problem deutet. Sie spricht nicht mehr von einem Viereck, sondern von einem „Quadrat“ <776> dem oben „was“ <777> (eine Seite) fehlt. Diese Spezifizierung verdeutlicht ihre Vorstellung und vereinfacht so den Zuhörenden das Mitdenken. Sie beschreibt wieder das „was“ <777> (diese Seite) „so runter geht“ <778> und macht dabei die gleichen Gesten wie zuvor. Diesmal beschreibt sie die entstehende Problematik mit dem Ausdruck „aber das sind dann ja fünf Ecken“ <778>. Vermutlich hat sie gedacht, dass der von ihr genutzte Begriff „Fünfeck“ <770> nicht für alle verständlich war. In diesem Fall kann es als bemerkenswerte Leistung angesehen werden, dass Yael ihre sprachliche Äußerung an die Umstände anpassen und vereinfachen konnte zu dem schon genutzten Fachbegriff der Ecken.

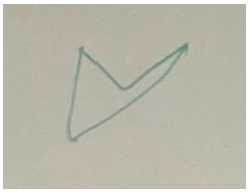
z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
782 783 784	00:38:21	L	#mhm . das stimmt. aber die Idee ist nicht schlecht weil wir haben ne konkave Ecke drinne nur es sind dann fünf Ecken und nicht mehr vier Ecken
785	00:38:29	Yael	mhm ja
786 787 788 789 790 791 792	00:38:30	L	aber das stimmt absolut mit der konkaven Ecke drinne ... okay … wir können aber mal trotzdem schauen du kannst es gerne mal anzeichnen und wir können mal gucken vielleicht können wir deine Idee ja irgendwie umbauen das wir da draus trotzdem irgendwie vier Ecken hinbekommen ein Viereck draus machen *(7 Sek.) (Yael geht an die Tafel und zeichnet etwas)*
793	00:39:01	Yael	*(geht zur Tafel und zeichnet etwas an)* so/# 

Es folgt ein schönes Beispiel dafür, wie eine fehlerhafte Schülervorstellung zur Weiterarbeit genutzt werden kann ohne sie direkt als falsch abzuschmettern. Die Lehrkraft stimmt Yaels Überlegungen und ihrer Erkenntnis zu <782>, honoriert aber gleichzeitig die Idee, da in der entstandenen Figur zumindest eine ‚konkave Ecke' vorhanden ist <782-786>. Sie schlägt vor, die Figur anzuzeichnen, um dann – analog zur vorherigen Situation – die Figur wieder so umzubauen, dass ein konkaves Viereck entsteht <787-791>. Im Sinne des sprachsensiblen Unterrichts wird hier also das eben Gelernte und Versprachlichte als Sachtransfer an einer ähnlichen Aufgabe wiederholt und somit vertieft (Maier & Schweiger, 1999). Außerdem gewinnt die Lehrkraft auf diese Weise eine weitere Externalisierung mentaler Vorstellungen <793>. Yael kann ohne zu zögern ihr mentales Bild anzeichnen, was davon zeugt, wie klar dieses mentale Bild in ihrer Vorstellung ist.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
794 795 796 797 798 799 800	00:39:02	L	#genau so . *(Yael geht an ihren Platz)* jetzt hätten wir vier Ecken/ .. so würde es aussehen . hat denn vielleicht jemand wenn wir uns das anschauen ne Idee/ wie wir das irgendwie verändern könnten das wir da vielleicht sogar ein Viereck draus bekommen/ *(4 Sek.)* das ist jetzt knifflig *(4 Sek.) (Lena und Julia melden sich)* oder sagt ihr es geht dann- Lena/
801 802 803 804	00:39:32	Lena	e h vielleicht di- eh diesen einen Strich eh . es ist schwierig zu erklären vielleicht das man- . diese eine Ecke wegmacht und zu dieser anderen Ecke diesen Strich zieht/ also- . *(unv.)*

Ihre Visualisierung wird wertgeschätzt <794> und für die Weiterarbeit der gesamten Lerngruppe als Lerngegenstand zur Verfügung gestellt. Die Kinder werden aufgefordert die Zeichnung anzuschauen <796> und zu überlegen, wie sie zu verändern wäre, damit ein Viereck entsteht <795-800>. Dabei räumt die Lehrkraft ein, dass dies ein schwieriger Auftrag ist <798>. Dies kann erleichternd für Kinder wirken, die sich mit dieser Aufgabe schwertun und gleichzeitig eine produktive Herausforderung für Kinder darstellen, die sich gerne mit schwierigen Aufgaben befassen. Nicht auszuschließen ist bei solch einer Aufgabe jedoch auch, dass Kinder, die ihre eigenen mathematischen Fähigkeiten für gering einschätzen, bei solch einer Aussage direkt abschalten, da sie von sich denken, dass sie diese Aufgabe dann sowieso nicht lösen können. Weiterhin problematisch ist, dass die Lehrkraft nur von einem „Viereck“ <798> spricht, anstatt von einem konkaven Viereck, welches sie sicherlich meint. Ein (konvexes) Viereck kann man hier sehr viel einfacher herstellen als ein konkaves. Spannend ist also, in welche Richtung die Schüler:innen ihre Frage interpretieren.

Nach einer Pause von vier Sekunden meldet sich Lena und versucht zu erklären, dass man „eine Ecke“ <802> entfernen und die entstehende Öffnung des Vierecks bzw. die beiden freistehenden Ecken mit einer Strecke verbinden muss. Unklar ist bis dato, welche Ecke sie meint – die eingedrückte (konkave) Ecke oben (dann würde die Figur zu einem konvexen Viereck werden), eine der beiden oberen Ecken (dann würde ein Dreieck entstehen) oder eine der (korrekten) unteren Ecken. Um dies spezifizieren zu können, bräuchte es entweder eine präzisere Versprachlichung oder eine visuelle Unterstützung.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
805	00:39:49	L	komm mal her und zeichne es mal an *(7 Sek.)*
806 807	00:40:01	Lena	*(kommt vor)* mh vielleicht das man einfach den Strich e h hier *(zeigt auf die rechte Seite des Vierecks)* runter nimmt/
808 809 810	00:40:07	L	Mhm/ .. wir machen das jetzt einfach mal weg *(Lena wischt zwei Seiten weg, zeichnet eine neue ein)*  lass mal schauen/ zeig uns mal wo jetzt die Ecken wären/
811	00:40:21	Lena	E h da da da und da *(zeigt nacheinander auf die Ecken)*
812	00:40:24	L	J a/ .. und wie viele sinds/ würdest du s nochmal sagen/
813	00:40:28	Lena	ehm vier

Um Lena nicht sprachlich zu überfordern, entscheidet sich die Lehrkraft dafür, ihr die Möglichkeit zu geben, ihr Vorgehen zu visualisieren <805>. Lena schlägt vor, einen „Strich“ <806-807> wegzunehmen. Interessant ist, dass sie dabei auf die rechte untere Ecke zeigt.

Vermutlich sind die beiden an diese Ecke angrenzenden Seiten als mehrgliedriger Streckenzug für Lena in diesem Moment *ein* Element (ein „Strich“ <803>), den sie gedanklich in einem Zug „runter nimmt“ <807>. Dies passt zu <802-803>, wo sie „eine Ecke wegmacht“ bzw. davon spricht eine Ecke zu entfernen. Auch hier meint sie nicht allein die Ecke, sondern den Streckenzug um diese Ecke herum.

Die Lehrkraft ermutigt sie, die Veränderung an der Tafel durchzuführen <808>, woraufhin Lena die beiden Seiten wegwischt und eine neue Seite als Verbindung zwischen den beiden freistehenden Ecken einzeichnet <808-809>. An dieser Stelle wird also für alle Zuhörenden sichtbar und deutlich, welche Vorstellungshandlung Lena mental vollzogen und versucht hat zu versprachlichen. Durch die „entfernte Ecke“ wurde quasi ein Dreieck abgeschnitten und eine ganz neue Figur generiert. Es wird jetzt also klar, dass sie in <802> tatsächlich nicht die eingedrückte (konkave) oder eine der beiden oberen Ecken gemeint hat, welche sie auf eine falsche Fährte geführt hätten, sondern mit einer der beiden unteren Ecken sozusagen den entscheidenden Hebel für die Transformation zum konkaven Viereck umgelegt hat. Damit hat sie zum einen trotz der unspezifischen Formulierung der Lehrkraft <798> verstanden, in welche Richtung der Arbeitsauftrag gedacht war. Dank aufmerksamen Verfolgens des Radiobeitrages und des Unterrichtsgeschehens war ihr offensichtlich klar, dass hier nicht irgendein (oder das der Zeichnung naheliegende konvexe) Viereck gemeint ist, sondern das konkave. Zum anderen hat Lena die Aufgabenstellung der Transformation des konkaven Fünfecks in ein konkaves Viereck bemerkenswert gut gelöst. Sie hat den schnellsten Weg zur Lösung der Aufgabe gefunden. Man hätte auch ein symmetrisches konkaves Viereck (wie das schon von Yael angezeichnete <751>) herstellen können. Hierzu hätte man rechts und links jeweils „eine Ecke wegnehmen“ müssen. Dieser Vorgang ist – was das Vorstellungshandeln angeht – durch die Symmetrie und die Orientierung an Yaels Zeichnung einfacher. Lenas Weg scheint durch das asymmetrische Endprodukt komplizierter, jedoch spart sie sich einen Konstruktionsschritt, was von hoher kopfgeometrsicher Problemlösekompetenz zeugt.

Auch wenn in dem hier bearbeiteten Ausschnitt des Radiobeitrages eine kopfgeometrische Aufgabe oder Vorstellungsübung nicht direkt eingebaut war, ist durch das Klassengespräch und die nicht vorhandene visuelle Repräsentation der Figuren das mentale Operieren mit geometrischen Objekten angeregt worden (Franke, 2007). Verschiedene Figuren sollten in der Vorstellung manipuliert und so verändert werden, dass konvexe Vierecke entstehen. Lenas Aufgabenbearbeitung kann deshalb im Sinne der *Typisierung von Aufgabenstellungen zur Kopfgeometrie* nach Senftleben (1996) eingeordnet werden: Da Yaels

Zeichnung schon an der Tafel zu sehen und außerdem Grundlage für den Auftrag der Korrektur ebendieser ist, wird Lena hier also mit einer kopfgeometrischen Aufgabe mit Hilfsmitteln in Phase 1 konfrontiert. Die Aufgabenstellung wird dabei durch eine Zeichnung unterstützt. Zu Beginn bearbeitet sie die Aufgabe nur mündlich – dies auch korrekt, was zeigt, dass sie keine weitere Hilfestellung in einer der anderen Phasen benötigt. Da Lenas Versprachlichung allerdings noch nicht für alle (oder zumindest nicht für die Lehrkraft) ausreichend verständlich zu sein scheint, wird ihr angeboten, ihre mental (schon komplett und korrekt) erarbeitete Lösung mithilfe von unterstützender Visualisierung zu verdeutlichen. Somit wird die Aufgabe zur kopfgeometrischen Aufgabe mit Hilfsmitteln in Phase 1 und 3 (in der Aufgabenstellung und bei der Darstellung der Ergebnisse) umdisponiert, um die Ergebnissicherung und somit die gemeinsame Wissensbasis der gesamten Lerngruppe zu sichern.

Auch die Sequenz <720-723> kann in diesem Sinne beschrieben werden. Hier hat Lena – wie oben analysiert – eine mentale Rekonstruktion der von Julia angezeichneten Figur vorgenommen, ihre mentale Lösung erfolgreich versprachlicht und somit eine kopfgeometrische Aufgabe mit Hilfsmitteln in Phase 1 gelöst. Da die Lehrkraft in <724> nicht weiter auf ihre Lösung eingeht, wird an dieser Stelle der – möglicherweise für den Rest der Lerngruppe hilfreiche – Zusatz eines Hilfsmittels in Phase 3 nicht vorgenommen. Abschließend lässt die Lehrkraft Lena nochmal die Anzahl der Ecken zeigen und benennen <810-813>, um für alle zu verdeutlichen, dass diese Figur jetzt ein Viereck ist –wenn auch ein sehr atypisches. Diese Klarstellung ist wieder wichtig für die gemeinsame Wissensbasis der Lerngruppe.

z	s:min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
814 815 816 817 818 819 820 821 822 823	00:40:29	L	aha/ also/ haben wir damit auch ein konkaves Viereck mit vier Ecken/ natürlich\ sieht aber anders aus wie das jetzt zum Beispiel *(zeigt auf das erste konvexe Viereck)* richtig gut .. **jawoll**/ Dankeschön/ *(Lena geht an ihren Platz)* .. okay dann haben wir jetzt zwei gesammelt/ und . *(nimmt Wortkarten in die Hand)* ham jetzt zwei neue Begriffe gelernt\ ich häng die uns jetzt nochmal an und dann schauen wir mal nochmal zusammen gerad was es heißt was bedeutet denn jetzt nochmal **konkav**/ .. *(hält eine Wortkarte hoch; Julia meldet sich)* Julia
824	00:41:02	Julia	das sind die mit den eingebeulten Ecken
825 826 827 828	00:41:04	L	aha/ .. jawoll/ haben wir jetzt auch hier zwei angezeichnet/ . ich häng das mal daneben\ *(hängt die Karte über die Vierecke)* . so/ .. was bedeutet denn jetzt nochmal **konvex**/ *(hält Wortkarte hoch; Julia meldet sich) (4 Sek.)* Ju-Julia/
829 830 831	00:41:29	Julia	das kann man zu den ehm Flächen hängen weil . w e i l e h m das ist halt dann nur dafür wenn die Ecken nach außen zeigen *(zeigt nach rechts und links)*

832 833	00:41:39	L	die Ecken nach außen zeigen\ genau/ (*hängt die Karte zu den Vierecken)* okay super .. **wunderbar**/

Die Lehrkraft bestätigt, dass durch Lenas Rekonstruktion ein konkaves Viereck entstanden ist, vergleicht es mit dem von Yael in <751> angezeichneten Viereck und betont, dass die beiden zwar unterschiedlich aussehen, aber beide konkave Vierecke sind <814-817>. Sie schließt die Phase des Suchens nach Repräsentanten ab <818> und leitet über zur Wiederholung und Sicherung des Erarbeiteten, indem sie mithilfe von Begriffskarten an die beiden neu gelernten Begriffe erinnert und nacheinander ihre Definitionen abfragt <819-828>. Auf die Frage nach der Definition für das konkave Viereck <822> antwortet Julia: „Das sind die mit den eingebeulten Ecken/“ <824>. Mit dem Begriff „eingebeulten“ nutzt Julia eine neue synonyme Umschreibung für die Ausdrücke „nach innen gedrückt“ oder „nach innen geboxt“ aus dem Beitrag (MV, Z. 95-96). Sie kann also zehn Minuten nach Rezeption des auditiven Mediums in eigenen Worten die dort gegebene Definition in eigenen Worten wiedergeben. Julia beschreibt den Endzustand einer dynamischen Zustandsveränderung und verallgemeinert diesen zu einer Regel. Sie spricht nicht mehr von einem spezifischen Viereck, sondern im Plural von allen Vierecken, die dieses Merkmal (eingebeulte Ecke) erfüllen. Ihre korrekte und individuelle Begriffsbeschreibung als ‚Sprache des Verstehens‘ (Wagenschein, 1968) zeugt von sehr detailliertem und sinnentnehmendem Hörverstehen (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) sowie von erfolgreicher Begriffsnetzerweiterung.

Die Lehrkraft bestätigt Julias Aussage <825> und hängt die Begriffskarte zu den angezeichneten konvexen Vierecken <826-827>. Problematisch ist hier, dass sie dabei sagt: „da haben wir auch hier jetzt zwei angezeichnet“ <825>. Damit meint sie die beiden konkaven Vierecke. Tatsächlich sind am Whiteboard aber drei konkave Figuren angezeichnet, da auch das konkave Fünfeck noch neben den konkaven Vierecken zu sehen ist. Dies ist nicht im Widerspruch zu Julias Definition („die mit de reingebeulten Ecken/“ <824>). Da sie hier nicht auf die Anzahl der Ecken eingeht. Dass die Lehrkraft von zwei Figuren (den konkaven Vierecken) spricht, könnte jedoch verwirrend sein. Auf der Begriffskarte steht jedoch nur der Begriff *konkav*, wodurch die Platzierung der Karte oberhalb der drei konkaven Figuren (Vierecke und Fünfeck) trotzdem korrekt ist.

Als nächstes fragt die Lehrkraft nach dem Begriff *konvex* <827-828> und nimmt wieder Julia dran, die antwortet: „Kann man zu den Flächen hängen weil.. weil äh das ist ja dann nur dafür wenn alle Ecken nach außen zeigen“ <829-831>. Ihre Definition ist korrekt und wieder überraschend genau sowie ähnlich zum Wortlaut der Definition im Radiobeitrag (MV, Z. 88-89), die wie eben schon erwähnt ganze zehn Minuten zurück liegt. Mit den Flächen meint sie

hier die (bekannten) Vierecke, die beim Stundeneinstieg gesammelt wurden und noch an der Tafel stehen (Quadrat, Trapez, Drachen, Parallelogramm). Spannend wäre an dieser Stelle, ob die konkaven Figuren für sie keine Flächen darstellen. Vermutlich hat sie aber nur nach einem Oberbegriff für die aufgelisteten Vierecke gesucht und liegt mit dem ihr aus dem Unterricht bekannten Begriff „Fläche“ auch nicht wirklich falsch. Es müsste im Unterrichtsverlauf allerdings klargestellt werden, dass auch konkave Vierecke Flächen sind.

Die Lehrkraft geht auf diese Problematik nicht ein, sondern wiederholt im Sinne des sprachsensiblen Unterrichts den korrekten Teil von Julias Definition <832> und hängt die Begriffskarte zu den passenden Vierecken <832-833>. Sie beendet die Unterrichtssequenz mit einem Zeichen von Zufriedenheit <833> und macht so transparent, dass die von ihr beabsichtigten Lernziele (Kap. 5.2.7) tatsächlich erreicht wurden.

Schlussfolgerungen

Insgesamt zeigt die detaillierte Interaktionsanalyse dieser Unterrichtssequenz beispielhaft, wie durch die Arbeit mit einem auditiven Medium die Erarbeitung von Begriffen und ihren Vorstellungen ganz ohne vorgegebene visuelle Repräsentationen geschehen kann.

Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle: Durch die rein auditive Vermittlung mussten die mentalen Vorstellungsbilder von den Schüler:innnen selbst generiert werden. Die individuellen (teils unterschiedlichen) Vorstellungsbilder wurden im Unterrichtsgespräch miteinander geteilt, was zur produktiven Herausforderung zur eloquenten Versprachlichung und dem Nutzen fachsprachlicher Elemente führte. Es findet hier ein doppelter Übersetzungsprozess statt: Zunächst von Sprache zu Bild (Visualisierungen) und dann vom Bild zur Sprache (Verbalisieren der Visualisierungen). Nach Gutenberg (2000) ist identisches Verstehen des Gemeinten bzw. Gehörten nicht möglich:

> Identität, also auch vollkommenes Verstehen, ist nicht erreichbar, weil Sinn eine Prozessqualität ist, die weder mit dem Gemeinten, noch mit dem Gesagten, noch mit dem Verstandenen vollständig identifiziert werden kann, sondern nur in der intersubjektiv- situativen Vermitteltheit des Verstehens des Gehörten mit dem Meinen des Gesagten liegt. (S. 579)

In diesem Sinne können die Zeichnungen als Unterstützung zur Verständigung und zum Verständnis der mentalen Vorstellungen sowie zur Verständnisüberprüfung dienen. Außerdem stellte das Zeichnen der mentalen Bilder als Externalisierung der Vorstellungen eine produktive Herausforderung dar. Diese Externalisierungen wurden weiterhin auch als visuelle

Unterstützungen im Sinne der Hilfsmittel in Phase 1 und 3 (Senftleben, 1996) genutzt. Auch Fehlvorstellungen konnten auf diese Weise aufgedeckt und durch mentales Vorstellungshandeln rekonstruiert werden bis schlussendlich die korrekte Vorstellung der auditiv eingeführten Begriffe für alle zugänglich waren. So konnten durch den Einsatz von auditivem Material Begriffswissen und Vorstellungsbilder aufgebaut werden sowie die Teilkomponente räumlichen Vorstellungsvermögens *Veranschaulichung (visualization)* (Franke, 2007) gefördert werden.

Analyse 07: Partnerarbeit Parallelogramm

Nachdem im Plenum gemeinsam ein Steckbrief-Plakat zum Quadrat erstellt wurde, sollen die Kinder nun in Partnerarbeit analog ein Steckbrief-Plakat zu je einem weiteren Viereck erstellen. Dazu wurde ihnen ein iPad ausgehändigt, auf dem in der Mediathek genau eine Audiosequenz abgespeichert ist. Diese Sequenzen sind Ausschnitte aus der Radiosendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* oder O-Töne zu dieser Sendung, in denen Sprecherin, Experten oder Kinder die Besonderheiten des entsprechenden Vierecks erklären.

Lena und Yael erstellen in Partnerarbeit ein Plakat zum Parallelogramm. Zu dem Zeitpunkt, an dem das Transkript einsetzt, haben die beiden Schülerinnen bereits einen kurzen Ausschnitt der Audiosequenz gehört, die auf dem iPad gespeichert ist, und auf einem Schmierzettel notiert, dass das Parallelogramm mit dem Rechteck verwandt ist.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen	
01	00:13	Lena	und/ *(startet die Wiedergabe am iPad)*	
02 03 04	00:14	KFK[28]	Prof. Dr. Christof Schreiber	verwandt mit der Raute
05	00:16	Lena	*(stoppt die Wiedergabe am iPad)* und mit der Raute\#	
06	00:16	Yael	#und . mit *(Yael schreibt auf ihrem Block)*	
07	00:19	Lena	ab jetzt werden wir aufgenommen gelle/#	
08	00:19	Yael	#Rau-te . aah *(beide lachen)* .. Peace	

Lena hat das iPad vor sich, sagt fragend „und/“ <01> und startet die Wiedergabe, sodass der nächste Part der Audiosequenz abgespielt wird, in dem der Experte Prof. Dr. Schreiber über die Verwandtschaft des Parallelogramms mit der Raute spricht <02>. Um die hier genannte Information zu verstehen und als Eigenschaft in das Begriffswissen zum Begriff ‚Parallelogramm‘ zu integrieren, wird auch Begriffswissen und -verständnis zum Begriff

[28] Bei der Abkürzung KFK handelt es sich um die O-Töne des Zusatzes „Hörenswertes“ zur Sendung „Wer wohnt im Haus der Vierecke?“. In diesem Fall handelt es sich um den O-Ton zum Parallelogramm (verfügbar unter: https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wer-wohnt-im-haus-der-vierecke/o-tone-anhoren).

‚Raute' benötigt. Ob dies an dieser Stelle gegeben ist, bleibt unklar. Tatsache ist jedoch, dass Lena diese Information als relevante Sinneinheit und gewissermaßen als Antwort auf die – durch das „und/" <01> implizierte – Frage nach weiteren Eigenschaften bzw. Verwandtschaften erkennt. Denn nach diesem kurzen Ausschnitt, der das Satzende eines zuvor begonnenen Satzes darstellt, betätigt Lena den Pause-Button und sagt wiederholend „und mit der Raute\" <05> wobei sie den Begriff ‚verwandt' auslässt. Dass ihr dies nicht nötig erscheint, zeigt, dass sie gedanklich tatsächlich noch mit der übergeordneten oder begonnenen Darstellung der Verwandtschaften beschäftigt ist. Zu der schon notierten Verwandtschaft mit dem Rechteck kann also einfach „und mit der Raute\" ergänzt werden. Dies übernimmt Yael, die den Schmierzettel vor sich liegen hat. Die Schüler:innen nehmen hier also die klassische Arbeitsteilung einer Partnerarbeit vor: einer bedient die Technik, der andere schreibt. In diesem Fall gibt außerdem Lena die angepasste Information vor <05>, die Yael aufschreiben soll.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen	
12 13	00:34	Lena	okay wir machen weiter .. du hast trante geschrieben *(zeigt auf das Geschriebene; startet die Wiedergabe am iPad)*	
14	00:38	Yael	Nein ich hab Raute *(lacht; verbessert das Geschriebene)#*	
15 16 17	00:39	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	#zwei gegenüberliegende Seiten
18	00:40	Lena	warte *(stoppt die Wiedergabe am iPad)*	
19	00:41	Yael	was/ es hat zwei geü-überliegende Seiten *(schreibt)*	
20	00:46	Lena	*(spult zurück und startet die Wiedergabe am iPad)*	
21 22 23	00:46	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	immer zwei gegenüberliegende Seiten gibt, die gleich lang sind
24 25 26	00:51	Yael	*(Lena stoppt die Wiedergabe am iPad; Yael schreibt während sie spricht)* z w e i gegen-#	
27	00:53	Lena	#gegenüberliegende Seiten die gleich lang sind/#	
28	00:53	Yael	*(schreibt)* #ge-gen-ü b e r- l i e- g e n- de Seiten#	
29	01:03	Lena	#die gleich lang sind	
30 31	01:04	Yael	*(schreibt)* d i e .. gleich . lang . si- % ups ich schreib jetzt nicht ordentlich gelle	
32	01:13	Lena	ist doch egal *(startet die Wiedergabe am iPad)*	

Nach einem kurzen off-task übernimmt Lena passend zur eben beschriebenen Aufgabenverteilung auch die Wärter-Rolle <12-13>. Sie gibt den Ton an („okay wir machen weiter" <12>), kontrolliert was Yael notiert hat und korrigiert sie („du hast trante geschrieben" <12>), wobei sie auf den Begriff Raute zeigt. Yael besteht zwar darauf, dass sie den Begriff korrekt geschrieben hat, scheint dann aber etwas zu verbessern, wobei sie ggf. auch nur den

ersten Buchstaben leserlicher schreibt. Lena, die den Podcast wieder gestartet hat <13>, ruft nach der nächsten von ihr erkannten Sinneinheit „warte“ <18> und pausiert die Wiedergabe. Yael fragt kurz „was/“ <19> und beantwortet sich die Frage dann selbst, indem sie die genannte Information in einem ganzen Satz wiedergibt: „es hat zwei geü-überliegende Seiten“ <19> und aufzuschreiben beginnt. Im Gegensatz zu <01-05> gibt nun nicht Lena, die für die Technik zuständig ist, die zu notierende Information vor, sondern Yael. Dies zeigt, dass Yael sich nicht auf ihrer Schreiber-Rolle ausruht und das Denken Lena überlässt, sondern ebenso aufmerksam zuhört, den von Lena vorgegebenen Sinneinheiten folgen kann, mitdenkt und mitentscheidet, was aufgeschrieben werden soll, sowie die Informationen zu vollständigen Sätzen ergänzen kann. Dass sie die Präposition „geü-überliegende“ <19> nicht ganz korrekt ausspricht, kann vor allem daran liegen, dass dieses Wort aus sehr vielen Silben besteht und der Beginn beinahe eine Silbendopplung darstellt. Dadurch, dass sie den ersten Teil der Präposition „gegen“ verschluckt, könnte allerdings ein Teil des Bedeutungsinhaltes verloren gehen – die Gegenseite auf der etwas (in diesem Fall die gleich lange Seite) liegt – wenn dies nicht korrigiert wird.

Lena spult zurück und startet die Audiosequenz erneut <20>. Interessanterweise hat sie es geschafft, fast genau an dem Punkt wiedereinzusetzen, an dem die eben erkannte und abgespielte Sinneinheit begonnen hatte. Auf die fehlerhafte Aussprache Yaels hin korrigiert sie diese also nicht einfach, sondern lässt sie selbst nochmal nachhören und spielt ihr genau die Sequenz vor, die sie für ihre Selbstkorrektur benötigt <21-24>. Im Sinne produktiver Partnerarbeit kann dies als sehr wertvolles pädagogisches Handeln gewertet werden. Lena betreibt quasi Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002) und bietet Yael ein sprachliches Korrektiv, welchem sie aufgrund der Darbietung durch das auditive Medium im Sinne eines ‚argumentum ad verecundiam‘ Autorität verleiht. Fischer und Malle (1985) sprechen hier von ‚Berufung auf Autorität als eine von verschiedenen möglichen Arten des Begründens.

Yael scheint den Wink zur sprachlichen Korrektur entweder verstanden oder aber das sprachliche Korrektiv durch die Wiederholung ganz unbewusst aufgenommen zu haben. In jedem Fall schreibt sie wieder und spricht dabei langsam mit: „z w e i gegen-„ <24-26>. Der Aussprachefehler von <19> ist somit behoben. Sie kommt jedoch nicht dazu, ihre Äußerung zu beenden, denn als ihre Stimme kurz in der Schwebe bleibt, übernimmt Lena und vervollständigt die von Yael begonnene Wiederholung der Information aus der Audiosequenz: „gegenüberliegende Seiten die gleich lang sind/“ <27>. Vermutlich hätte Yael diese Wiederholung gar nicht gebraucht, sondern spricht einfach langsam und mit Pausen, um ihre Aussprache an ihr Sprechtempo anzugleichen. Den Rest der Notation spricht sie langsam aber

fehlerfrei mit <28;30>. Trotzdem interveniert Lena und diktiert ihr wie eine Nachhilfelehrerin Häppchenweise die nächsten Satzbausteine <27;29>.

Es sind zu diesem Zeitpunkt der Partnerarbeit also beide Schüler:innen aktiv in den Erarbeitungsprozess involviert. Bisher gibt es auch keine Auseinandersetzung darüber, was aufgeschrieben werden soll. Die Schüler:innen scheinen sich einig zu sein und die von ihrer Partnerin vorgeschlagenen Notationen zu akzeptieren. Es gibt also keine klassische Aufgabenteilung im Sinne von ‚einer denkt, einer schreibt', auch wenn die Aufgaben (Bedienen der Technik und Schreiben) aufgeteilt wurden. Beide haben ihren Anteil daran, dass die auditiven Informationen in ihrem individuellen Tempo verarbeitet und für den Steckbrief aufbereitet werden können.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen	
33 34 35	01:15	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	Aber jetzt muss es kein rechter Winkel mehr sein, sondern wir haben einfach nur noch zwei gegenüberliegende Sei-
36 37	01:20	Lena	*(stoppt die Wiedergabe am iPad)* es gibt keine rechten Winkel schreib das auf	
38	01:23	Yael	*(schreibt)* kei- *(räuspert sich)* rechter	
39	01:31	Lena	sieht aus als würde Mark heulen *(beide lachen)*	
40	01:36	Lena	okay es geht weiter *(startet die Wiedergabe am iPad)*	

In dieser Interaktion übernimmt zwar Lena die Führung und diktiert Yael, was sie aufschreiben soll <36-37>, allerdings wird sehr schön deutlich, dass und wie sie auf der Stufe detaillierten Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) agiert: Sie lässt eine etwas längere Sequenz abspielen, in der zu Beginn die neue Information genannt wird, dass das Parallelogramm keine rechten Winkel mehr haben muss (im Gegensatz zu den schon besprochenen Vierecken Quadrat und Rechteck). Nach der Nennung dieser neuen Information lässt sie den Beitrag noch ein wenig weiter abspielen, vermutlich um die Erklärung einer gegensätzlichen Eigenschaft abzuwarten, die durch die Konjunktion „sondern"<34> angekündigt wurde. Als stattdessen die schon bekannte Eigenschaft „sondern wir ham einfach nur noch zwei gegenüberliegende Sei-" <34-35> genannt wird, bricht sie das Abspielen der Audiosequenz ab. Sie scheint erkannt zu haben, dass der zweite Teil dieser adversativen Satzverbindung keine neue Information darstellt und deshalb nur der erste Teil die gesuchte relevante Sinneinheit darstellt. Sinneinheiten können also teilweise erst erschlossen werden, wenn die Begrenzung nach hinten durch „Vorhören" identifiziert wurde. Auf diese Weise kann sie im Sinne des detaillierten Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) dann die gesuchte Eigenschaft herausfiltern <36-37> und Yael mit dem Notieren dieser beauftragen <37>. Als dies erledigt ist, spielt sie das Audio weiter ab, um die nächste Sinneinheit und relevante Information zu finden <40>.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen	
41 42 43 44	01:38	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	beide Seiten sind gleich lang, und wenn wir das so zeichnen und nicht auf rechte Winkel achten, dann entsteht automatisch ein Parallelogramm. Aber man sieht
45	01:48	Yael	*(stoppt die Wiedergabe am iPad)* wenn man ein-#	
46 47	01:49	Lena	#Nein das brauchen wir nicht aufschreiben *(startet die Wiedergabe am iPad)*	
48 49 50	01:51	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	das hat ne Verwandtschaft mit-
51 52	01:53	Yael	*(stoppt die Wiedergabe am iPad)* doch wenn man ein Rechteck zeichnet-#	
53	01:54	Lena	*(startet die Wiedergabe am iPad)*	

Diesmal ist es Yael, die das Abspielen der Audiosequenz pausiert <45> und damit zeigt, dass sie eine relevante Sinneinheit identifiziert hat. Sie beginnt diese Einheit zu wiederholen und fängt dabei nicht am Anfang der abgespielten Sequenz an, sondern erkennt, dass sie die dort genannte Information (die gleich langen Seiten) schon notiert hatten und beginnt deshalb erst dort, wo für sie die neue Information einsetzt <45>. Lena unterbricht sie, wirft ein, dass diese Information nicht aufgeschrieben werden muss und startet das Audio erneut <46-47>. Sie scheint genau zu wissen, wie der Satz von Yael weitergegangen wäre und von welcher Information aus der Audiosequenz sie spricht. Dies zeigt wieder, wie sehr die beiden in ihre Aufgabe involviert sind. Sie hören nicht nur dem auditiven Medium zu, sondern auch einander und können so im angeregten Austausch sein. In diesem Fall widersprechen sich die beiden. Lena ist der Meinung, die (noch nicht vollendet ausgesprochene) Information sei nicht relevant. Yael bleibt jedoch standhaft bei ihrer Meinung und greift zum ersten Mal in die technische Bedienung ein. Sie pausiert die Wiedergabe, die Lena wieder gestartet hat und sagt: „doch wenn man ein Rechteck zeichnet-“ <51-52>. An dieser Stelle wird also endgültig klar, dass Yael die Konstruktion eines Parallelogramms aus einem Rechteck meint und diese als relevante Information notieren möchte. Spannend ist hier, dass aus der abgespielten Audiosequenz gar nicht eindeutig hervorgeht, dass von einem Rechteck die Rede ist, sondern nur der unbestimmte Verweis „das“ <42> genannt wird. Yael muss diesen Schluss also aus dem Kontext bzw. der Beschreibung der Verwandtschaft von Rechteck und Raute ganz zu Beginn der Audiosequenz und der Interaktion der beiden (ca. 2 min zuvor) gezogen haben, was als beachtliche Leistung und als Hinweis auf globales Hörverstehen (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) gewertet werden kann.

Dass Lena diese Information nicht relevant findet, könnte genau an dieser Tatsache liegen: die Beschreibung der Konstruktion geht vom Rechteck aus, weshalb man vermuten

könnte, dies wäre eher eine Eigenschaft des Rechtecks: Wenn man dem Rechteck die rechten Winkel nimmt, wird es zum Parallelogramm. Rückwärts kann man diese Aussage zwar auch als Konstruktionsbeschreibung für das Parallelogramm lesen, dies scheint Lena aber entweder nicht zu sehen oder als unpassend für die Beschreibung des Vierecks halten, da sie eher nach Eigenschaften sucht. In jedem Fall startet sie die Audiosequenz erneut, um die Diskussion zu beenden. Dieses Verhalten zeugt von selektiver Informationsverarbeitung im Sinne detaillierten Zuhörens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61). Die Schülerin hört den Informationsfluss nach spezifischen Informationen ab und filtert nur von ihr als relevant gewertete Details heraus.

Die Diskussion der beiden Schülerinnen geht noch eine Weile weiter, bis sie sich darauf einigen, die Information erstmal auf dem Schmierzettel zu notieren und dann später zu entscheiden, ob sie wirklich mit auf das Plakat genommen werden soll <71>, was an dieser Stelle nicht weiter analysiert werden soll.

Anschließend nehmen sie sich das Forscherheft zu Hilfe, um zu schauen, welche Informationen ihnen noch fehlen <89-93>. Da sie einige Lücken finden, entscheiden sie das Audio zu Ende zu hören und erst dann mit dem Ausfüllen des Forscherheftes zu beginnen <94-97>.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen	
99 100 101	03:24	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	und, das ist ganz wichtig das hat nämlich deshalb auch ne Verwandtschaft#
102 103	03:27	Lena	#warte mal *(stoppt die Wiedergabe am iPad)* wir warn hier *(startet die Wiedergabe am iPad)*	
104 105 106	03:29	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	das ist so die zwei gegenüberliegenden Seiten sind#
107	03:31	Lena	#des ner-#	
108 109 110 111 112 113 114 115	03:31	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	#parallel und das ist ganz wichtig, das hat nämlich deshalb auch ne Verwandtschaft mit der Raute, weil das auch wieder einen Mittelpunkt hat und um diesen Mittelpunkt können wir das Parallelo-gramm drehen und bringen es wieder zur Deckung wenn wirs um hundertachtzig Grad drehen. Viele Leut-
116	03:48	Yael	*(stoppt die Wiedergabe am iPad)*	
117	03:49	Lena	man bringt es wieder in Deckung wenn es man *(unv.)*#	
118 119 120 121	03:49	Yael	#u m (*nimmt Pappe mit Parallelogramm in die Hand und dreht das Viereck)* nein wenn- wenn ma- man es um hundertachtzig Grad dreht dann . sieht das wieder gleich aus\	
122	03:56	Lena	ja . schreib das mal auf	
123 124 125	03:57	Yael	*(schreibt während sie spricht)* w e n n m a n . das . P a-r a-ll e-l o-gramm . um . hundertachtzig gelle/ .. Gramm Grad . ich he- wollte gerad Gramm schreiben dr e- . s i e h t ...	

126			gleich
127	04:36	Lena	aus

Der Beitrag wird also weiter gehört. Dabei fällt Lena auf, dass nicht die richtige Stelle abgespielt wird und sie bewegt den Wiedergabe-Regler hin zu der Stelle, mit der sie zuletzt gearbeitet haben <102-103>. Durch den sehr bewussten Umgang mit der technischen Bedienung des auditiven Mediums zeigt sie zum einen ihre Medienkompetenz (Baacke, 1996), und zum anderen erneut ihre Zuhörkompetenz auf der Stufe detaillierten Hörverstehens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61). Aufmerksam prüft sie die auditiven Informationen auf Relevanz und Nutzen für die Bearbeitung der Aufgabe und merkt hier, dass sie an anderer Stelle weiterhören müssen.

Der begonnene Ausdruck „des ner-“ <107> wäre sehr wahrscheinlich zu einem „das nervt“ weiter ausgesprochen worden. Es kann davon ausgegangen werden, dass Lena sich hier gestört fühlt durch das – zwar sehr einfache aber nicht sehr genau mögliche – Vor-und Zurückspulen. Der Wiedergabe-Regler lässt sich einfach nach vorne oder hinten bewegen, jedoch kann man je nach Größe der Darstellung (Smartphone, iPad, Diktiergerät, Mediathek am Computer oder auf der Homepage des Kinderfunkkollegs) unterschiedlich gut erkennen, wie weit man ihn wirklich nach vorne oder hinten bewegen muss. Spult man versehentlich zu weit zurück, wird man Teile des schon Gehörten wiederholt hören, was Lena an dieser Stelle anscheinend langweilt und deshalb nervig erscheint. Für leistungsschwächere Kinder kann eine solche (ungewollte) Wiederholung hingegen sogar zielführend sein. In jedem Fall kann dies als didaktischer Hinweis für die selbstständige Arbeit mit auditiven Medien festgehalten werden: je größer die Darstellung, desto einfacher das eigenständige Arbeiten und Finden von relevanten Informationen.

Nach einem etwas längeren Part der Audiosequenz übernimmt Yael die technische Bedienung, pausiert die Wiedergabe <116> und markiert so eine geschlossene Sinneinheit. Noch bevor sie etwas sagen kann, beginnt Lena eine der letzten genannten Informationen zu wiederholen <117>. Aus inhaltlicher Perspektive filtert sie im Sinne des detaillierten Hörverstehens wieder gekonnt eine relevante Information aus einem längeren Informationsfluss heraus. Aus sprachlicher Perspektive ist die vermutlich unbewusste Veränderung von „zur Deckung“ zu „in Deckung“ <114-117> spannend. Es kann davon ausgegangen werden, dass Lena der Ausdruck „in Deckung gehen“ aus dem alltagssprachlichen Gebrauch bekannt und vertrauter ist. Die Verwendung der Präposition „in“ <117> ist tatsächlich gar nicht so unpassend, wenn die enaktive Handlung am Drehmodell in den Blick genommen wird (Abb. 24 in Kap. 5.2.7): Mithilfe einer Schablone des Vierecks, die drehbar

auf einer Pappe befestigt war, konnten die Schüler:innen die Viereck-Schablone mit dem aufgezeichneten Viereck auf der Pappe in Deckung bringen. Dieses Drehmodell wurde bisher nur im Plenum in Bezug auf das Quadrat eingeführt, mit dem Forscherheft haben die beiden Schüler:innen jedoch auch ein Drehmodell für das Parallelogramm bekommen, welches vor ihnen auf dem Tisch liegt.

Dieses Drehmodell nimmt Yael nun zur Überprüfung zur Hand und dreht das Parallelogramm um seinen Drehpunkt <118-119>. Sie bemerkt dabei: „wenn ma- man es um hundertachtzig Grad dreht dann . sieht das wieder gleich aus\“ <119-121> und erklärt hier in eigenen Worten die Deckungsgleichheit, die bei einer 180 Grad Drehung zu beobachten ist. Auch ihre Handlung am Drehmodell passt dabei zu der Versprachlichung, sodass von einem vertieften inhaltlichen und zumindest ansatzweise integrierten Verständnis (Vollrath, 1984) ausgegangen werden kann. Lena bestätigt Yael und fordert sie auf, diese Eigenschaft aufzuschreiben ohne nochmal den fachsprachlichen Begriff „Deckung“, den sie selbst in <117> genutzt hat, einzufordern. Sie versteht also, dass beide Beschreibungen das gleiche Phänomen bezeichnen und kann sich flexibel auf Yaels sprachliche Möglichkeiten einlassen. Diese beginnt, die aus dem auditiven Medium heraus selektierte und enaktiv überprüfte Information aufzuschreiben und wird dabei wieder von Lena unterstützt <122-127>.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen	
128	04:38	Yael	aus *(leise; Lena startet die Wiedergabe am iPad)*	
129 130 131 132 133 134 135	04:40	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	da gäbs auch ne Symmetrieachse, aber die gibt es ja nicht. Egal ob wir die Symmetrieachse diagonal, senkrecht oder waagerecht zeichnen, das ist keine Spiegelachse. Also keine Symmetrie-achse einzeichnen, sondern nur einen Punkt in der Mitte, das ist de-
136 137	04:54	Lena	*(stoppt die Wiedergabe am iPad; Yael schreibt)* es gibt keine Symmetrieachse	
138	04:56	Yael	*(schreibt)* Sym-metrie-ach s e nur	
139	05:05	Lena	Punkt in der Mitte	
140	05:06	Yael	*(schreibt)* Punkt . in . der . Mit-te	
141	05:15	Lena	*(startet die Wiedergabe am iPad)*	
142 143 144	05:15	KFK	Prof. Dr. Christof Schreiber	der Drehpunkt, um den wir
145	05:17	Lena	das der Drehpunkt#	
146	05:17	Yael	#ja *(schreibt)*	

Nachdem Yael das letzte Wort notiert hat, startet Lena erneut die Wiedergabe <128>. Wieder zeigt sich hier eine gut aufeinander abgestimmte Arbeitsweise. Nach einer Weile beginnt Yael etwas auf ihrem Schmierzettel zu notieren. Damit markiert sie wieder, dass für sie eine

Sinneinheit abgeschlossen ist und sie im Sinne des detaillierten Zuhörens (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) ein relevantes Detail herausgefiltert hat. Lena versteht das Zeichen und geht bestätigend auf Yael ein, indem sie die Wiedergabe stoppt, um den Fokus auf das Notieren der Information zu legen <136>. Dabei nennt sie die Information, die sie als relevant identifiziert hat: „es gibt keine Symmetrieachse“ <136-137>. Dies ist eine bemerkenswert gute und kompakte Zusammenfassung der relativ langen Audiosequenz. Interessant ist, dass auch Yael genau diesen Punkt als wichtigste Information herausgefiltert hat, denn sie versprachlicht jetzt ihr schon begonnenes Schreiben <138>. Noch während der Wiedergabe, begann sie (nicht sichtbar im Video) mit dem Schreiben des Satzes „Es gibt keine Symmetrieachse“, scheint aber erst bei dem schwierigen Fachbegriff mitsprechen zu müssen, um das Schreiben zu unterstützen. Unabhängig voneinander haben also beide Schüler:innen dasselbe Detail aus der umfangreichen auditiven Information als relevant herausarbeiten können. Das angehängte Adverb „nur“ <138>, weist darauf hin, dass sie nachfolgend die gegensätzliche Eigenschaft der Drehsymmetrie notieren möchte, die in der Audiosequenz mit der Konjunktion „sondern“ <134> angehängt wurde.

Lena vervollständigt ihren Satz und nennt als gegensätzliche Eigenschaft den „Punkt in der Mitte“ <139>. Wieder komplementieren sich die beiden, gehen aufeinander ein und bringen ihre Gedanken zusammen. Es folgt eine Interaktion, in der ähnlich wie zuvor Yael die Notation <140; 146> und Lena die technische Bedienung übernimmt <141> und gemeinsam sukzessiv und portioniert weitere Informationen ergänzt werden. Und auch hier stimmen die beiden wieder in ihrer Einschätzung der Relevanz der abgespielten Information überein. Lena präzisiert den eben notierten „Punkt in der Mitte“ <139-140> mit dem in der Audiosequenz genannten Fachwort „das der Drehpunkt“ <145>. Yael bestätigt und notiert dies <146>. Ebenso wie in der Audiosequenz wird hier von einer eher alltags- bis bildungssprachlichen Umschreibung hingeführt zur exakten fachsprachlichen Bezeichnung. Auch wenn erstere schon verständlich und ausreichend gewesen wäre, scheint die Notation des Fachbegriffs beiden wichtig zu sein.

Es folgt ein Arbeitsphasenwechsel: Die Audiosequenz zum Parallelogramm ist zuende und die Schüler:innen entscheiden nun die (vorhin aufgeschobene <95-96>) Arbeit im Forscherheft zu beginnen, in dem sie die wichtigsten Eigenschaften und Informationen ihres Vierecks notieren sollten <173-195>. Sie gehen damit aktiv und eigenständig von der Erarbeitungsphase in die Phase der Ergebnissicherung über. Anschließend bringen sie alle auf dem Schmierzettel gesammelten Informationen in Reinform auf das Steckbrief-Plakat <195-400>. Es entsteht folgendes Produkt (Abb. 50), auf dem die ersten drei Stufen des

Begriffsverständnisses zu erkennen sind (null, erste, zweite – Anschauung, Eigenschaften, Beziehung).

Ähnlich wie in den Plakatanalysen (Analyse 08) lassen sich hier Aspekte des Begriffsverständnisses auf der nullten bis zweiten Niveaustufe geometrischen Denkens identifizieren (van Hiele, 1964): Die erste Stufe, das räumlich-anschauungsgebundene Denken, zeigt sich in der Abbildung des Parallelogramms, in dem auch der Drehpunkt markiert ist. Die erste Stufe, das analysierend-beschreibende Denken zeigt sich in dem Aufführen der spezifischen Eigenschaften des Parallelogramms. Und die zweite Niveaustufe, das abstrahierend-relationale Denken wird durch die Beschreibung der Verwandtschaft mit dem Rechteck und der Raute repräsentiert.

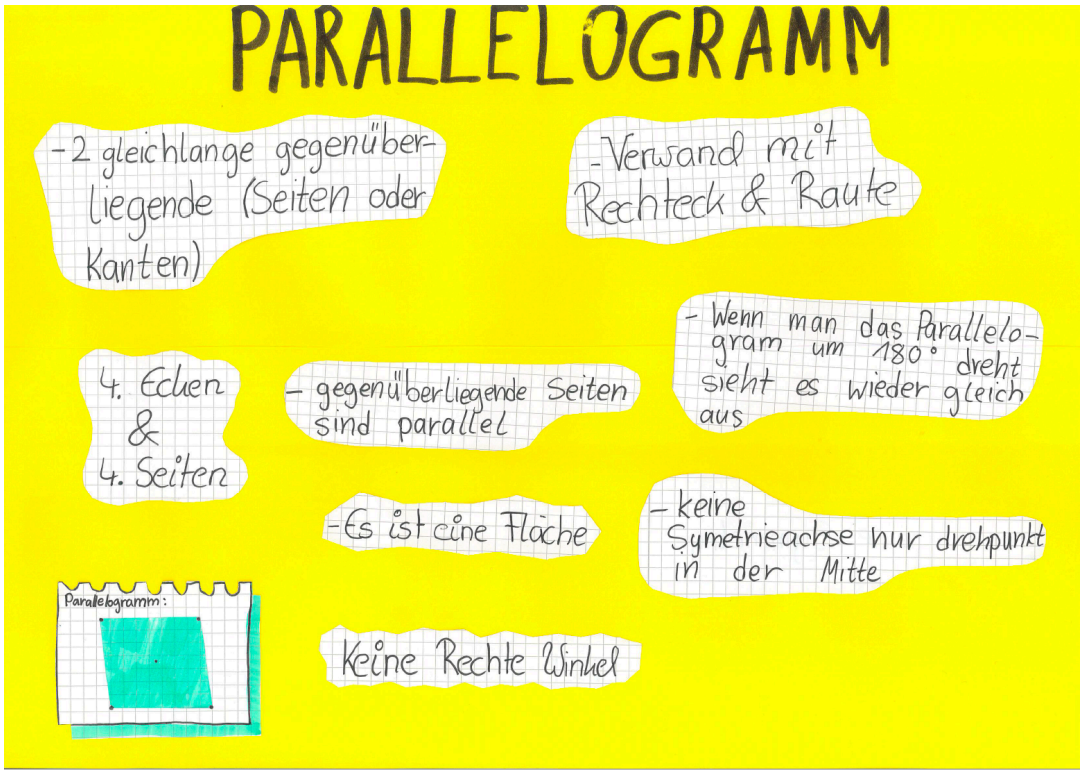


Abbildung 50: Steckbrief-Plakat zum Parallelogramm von Lena und Yael

Abschließend überprüfen die beiden Schülerinnen anhand des Forscherheftes, ob ihr Plakat alle von ihnen erarbeiteten Informationen enthält, um dieses dann der Klasse zu präsentieren <401-532>. Das Forscherheft kann also eine sinnvolle Stütze dienen, um zum einen (wenn nötig) die Erarbeitungsphase anzuleiten und zum anderen selbstständige Eigenkontrolle zu ermöglichen.

Schlussfolgerungen

Hörverstehen: In dieser Sequenz zeigt sich sehr eindrucksvoll, wie mit dem auditiven Medium am iPad selbständig mathematische Inhalte erarbeitet werden können. Durch die Nutzung des Play/Pause-Button kann die Wiedergabe unterbrochen werden, um nur so viele Informationen abzuspielen wie benötigt oder aufgenommen werden können. Auf diese Weise zeigt sich zum einen die selbstständige Beachtung individueller Auffassungsgrenzen sowie zum anderen die individuelle Einteilung des Gehörten in Sinneinheiten. Beide Aspekte unterstützen die Schülerinnen im detaillierten Hörverstehen (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61). An einer Stelle der Interaktion wurden auch Hinweise auf globales Hörverstehen (Pabst-Weinschenk, 2011, S. 61) gefunden, jedoch fordert die Aufgabenstellung hier eher das detaillierten Hörverstehen ein. Diese identifizierten Sinneinheiten werden bei Bedarf durch Zurückspulen nachgehört, um Unklarheiten zu klären und aufgrund von Berufung auf Autorität (Fischer & Malle, 1985) Korrekturen vorzunehmen. Auf diese Weise hören die Schülerinnen den auditiven Informationsfluss nach spezifischen Informationen ab und filtern nur als relevant gewertete Details heraus, die teilweise nochmal enaktiv überprüft werden. Hier zeigt sich die mögliche Verbindung verschiedener Repräsentationsebenen für ein Vertieftes inhaltliches Begriffsverständnis (Vollrath, 1984), die jedoch nicht vorgefertigt vorgegeben wurde (z.B. durch eine Abbildung der Drehsymmetrie), sondern aufgrund der auditiven Informationen von den Kindern selbst mitentwickelt wurden (die Drehung wie auditiv vermittelt selbst durchführen).

Bezüglich der kooperativen Arbeit mit dem auditiven Medium lässt sich festhalten, dass die Schülerinnen nicht nur dem auditiven Medium, sondern auch einander zuhören und im angeregten Austausch über das Gehörte sind. An den meisten Stellen sind sie sich über die vorgeschlagenen Notationen einig oder ergänzen sich gegenseitig. Es liegt also keine klassische Aufgabenteilung im Sinne von ‚einer denkt, einer schreibt' vor, sondern beide bereiten kooperativ und in ihrem individuellen Tempo die auditiv vermittelten Informationen für den Steckbrief des Parallelogramms auf. Außerdem übernehmen beide abwechselnd und je nach Bedarf (wenn auch mit leichter Führung von Lena) die technische Bedienung und zeigen Kompetenzen im Bereich der Mediennutzung (Baacke, 1996). Hier muss jedoch als mediendidaktischer bzw. technischer Hinweis für die selbstständige Arbeit mit auditiven Medien festgehalten werden, dass die Größe der Darstellung der Wiedergabe-Spur das einfache und eigenständige Arbeiten sowie das Finden von relevanten Informationen beeinflusst.

Fachbezogene Bildungssprache: Im Hinblick auf mathematischen Begriffserwerb zeigt diese Sequenz anschaulich, wie durch die Arbeit mit einem auditiven Medium Strategien des MRA-Models (Meaney et al., 2012) auf den Stufen Noticing, Intake und Integrate genutzt werden konnten: Auf der ersten Stufe ‚Noticing' (Meaney et al., 2012, S. 203) werden durch das auditive Medium neue Begriffe oder Ausdrücke eingeführt bzw. neue Bedeutungen zu bereits bekannten Termini eingefügt und wiederholt verwendet. Auf der zweiten Stufe ‚Intake' wird der Verstehensprozess angeregt, das Erkunden der neuen Begriffe und dem Arbeiten mit ebendiesen. Auf der dritten Stufe ‚Integration' werden die Schülerinnen herausgefordert, die Begriffe in Aufgabenbearbeitungen zu benutzen, und werden dabei durch die Strukturen des Forscherheftes angeleitet und unterstützt. Insgesamt zeigen sich also produktive Lernprozesse im Bereich der Medienkompetenz, der Zuhörkompetenz sowie im Bereich des mathematischen und sprachlichen Begriffsverständnis.

Analyse 08: Analyse der Steckbriefe

In den beiden Unterrichtseinheiten sind eine Vielzahl an Schülerdokumenten unterschiedlicher Art entstanden: Arbeitsblätter, Tabellen, Wortspeicher, Forscherhefte, Plakate etc. aus Gruppen- und Einzelarbeitsphasen. Sie alle zu analysieren würde dem Umfang dieser Arbeit übersteigen und wäre auch nicht zielführend. Aus diesem Grund soll beispielhaft an drei der Steckbrief-Plakaten zu den verschiedenen Vierecken gezeigt werden, welche Aspekte auditiven Lernens in den Schülerdokumenten sichtbar werden.

In der Partnerarbeitsphase wurde durch die selbstständige Arbeit mit dem auditiven Medium von jeder Gruppe jeweils ein Viereck mit seinen Eigenschaften erarbeitet. Dazu wurden die entsprechenden Audiosequenzen, die für jede Gruppe vorselektiert auf den iPads abgespeichert waren, von der jeweiligen Gruppe selbstständig abgespielt und bei Bedarf pausiert und/oder wiederholt. Mithilfe von Forscher- bzw. Höraufträgen wurden relevante Informationen im vorstrukturierten Forscherheft festgehalten und die Vierecke auch enaktiv auf ihre Eigenschaften hin untersucht (durch z.B. abmessen der Seitenlängen etc.). Auf Grundlage der Forscherhefte sollten abschließend Steckbrief-Plakate für die Vierecke erstellt werden. Auf den Plakaten wurden Abbildungen der jeweiligen Figur aufgeklebt, um die Symmetrieachsen und rechten Winkel einzuzeichnen, sowie wichtige Eigenschaften der einzelnen Vierecke festgehalten. Diese Steckbrief-Plakate werden später von den Kindern zur Kommunikation und Argumentation herangezogen. Dies wird im Rahmen der Interaktionsanalysen noch ausführlich beschrieben und analysiert (Analyse 09-11).

Das Quadrat

Auf dem Steckbrief-Plakat der Gruppe, die das Quadrat bearbeitet hat, fällt zuallererst auf, dass eine bestimmte Ordnung hergestellt wurde. Oben mittig ist der Name des Vierecks als Oberbegriff aufgeführt (Abb. 51). Unter diesem Oberbegriff wurden auf der rechten Seite seine Eigenschaften stichpunktartig notiert und auf der linken Seite eine ausgeschnittene Abbildung des Quadrates mit einer Büroklammer befestigt. Die Figur wurde dabei – bewusst oder unbewusst – nicht wie üblicherweise dargestellt auf einer der vier Seiten liegend befestigt, sondern etwas schräg im Raum positioniert. Auf diese Weise ist das Quadrat ähnlich wie die auf der Spitze stehende Raute positioniert. Direkt über dem Quadrat wurde eine Krone gezeichnet, als würde sie auf seinem Haupt sitzen. Hiermit wurde der im Radiobeitrag genannte Aspekt des Quadrates als „Königin der Vierecke“ (MV, Z. 115) abgebildet. Hier wurde also eine visuelle Darstellung des auditiv Gehörten entwickelt.

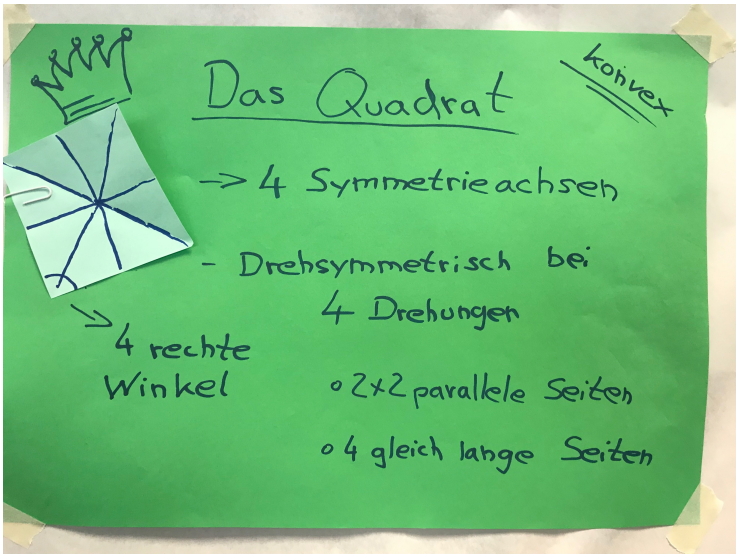


Abbildung 51: Steckbrief-Plakat für das Quadrat

Oben links wurde der Oberbegriff konvex notiert, dem das Quadrat zuzuordnen ist. Zwar kann er das Viereck auch als Eigenschaft beschreiben (konvex als die Eigenschaft, dass alle Ecken nach außen zeigen), jedoch scheint der Begriff für die Lernenden durch die Erarbeitung in und durch den Radiobeitrag vor allem als Klassifikation der Vierecke verstanden – als Name einer Gruppe, zu der das Quadrat gehört, und damit als Oberbegriff. Aus diesem Grund wurde dieser Begriff oben links und abseits von den anderen Eigenschaften notiert. Die Notationen der erarbeiteten Eigenschaften setzen sich zusammen aus Objekt, Maß-, Relations- und Abbildungsbegriffen. Sie zeugen von der ersten Stufe geometrischen Denkens dem analysierend-beschreibendes Denken (van Hiele, 1964). Zwei Eigenschaften (die rechten

Winkel und die Symmetrieachsen) wurden auch in der ausgeschnittenen und befestigten Figur eingezeichnet. Dies beschreibt die nullte Stufe geometrischen Denkens räumlich-anschauungsgebundenes Denkens (van Hiele, 1964).

Die Raute

Auf dem Steckbrief-Plakat der Raute (Abb. 52) wurden die erarbeiteten Eigenschaften eher unstrukturiert verteilt, dafür aber in ganzen Sätzen notiert. Auch hier wurde auf der linken Seite eine ausgeschnittene Figur befestigt und die Symmetrieachsen eingezeichnet – ein Merkmal der nullten Stufe geometrischen Denkens räumlich-anschauungsgebundenes Denkens (van Hiele, 1964). Die notierten Eigenschaften können dem analysierend-beschreibenden Denken (van Hiele, 1964), der ersten Stufe geometrischen Denkens, zugeordnet werden.

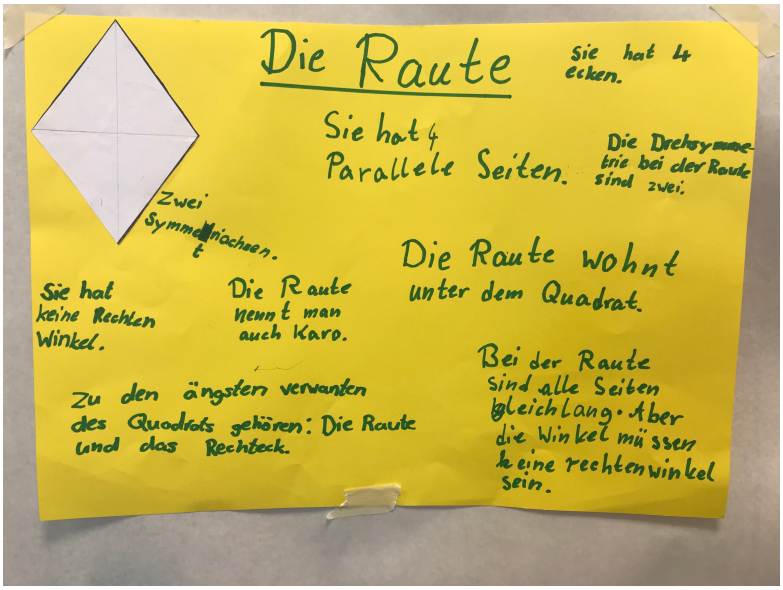


Abbildung 52: Steckbrief-Plakat für die Raute

Jedoch gibt es in diesem Bereich einige fehlerhafte Informationen: es wurde notiert, dass die Raute keine rechten Winkel hat, was zwar für diese spezifische Raute stimmt, jedoch nicht zwingend bei allen Rauten der Fall sein muss, denn das Quadrat ist eine besondere Raute mit vier rechten Winkeln. Dieser Fehler ist auf den Radiobeitrag zurückzuführen. Hier wird gesagt, dass ein Quadrat „bei dem alle vier Seiten gleichlang sind, aber die Winkel nicht rechte Winkel sein müssen, dann hab‘ ich ‘ne Raute“ (MV, Z. 153-155). Dies könnte von den Lernenden so gedeutet worden sein, als hätte die Raute keine rechten Winkel – oder als wäre diese Information nicht relevant. Auch die Notation der vier parallelen Seiten ist problematisch. Wie sie zustande kam und was sie zu bedeuten hat, konnte durch die Interaktionsanalyse (Analyse

10) rekonstruiert werden. Durch das gemeinsam ausgehandelte fach- und aufgabenspezifische Mittel (Götze, 2015) „zweimal zwei parallele Seiten“ als Bezeichnung für die beiden Paare paralleler Seiten, wird durch das Ergebnis der Rechnung 2*2= 4 die „vier“ als verkürzter Ausdruck dieses sprachlichen Mittel zustande gekommen sein. Da alle Seiten jeweils eine Seite haben, mit der sie parallel zueinander sind, gelangten die Schüler:innen hier zu der Schlussfolgerung, dass alle Seiten parallel sind – ergo es vier parallele Seiten gibt.

Des Weiteren weist die Beschreibung der Position der Raute unter dem Quadrat auf die zweite Stufe geometrischen Denkens hin, das abstrahierend-relationales Denken (van Hiele, 1964), mit dem die Beziehungen innerhalb einer Begriffshierarchie beschrieben werden.

Das Rechteck

Schaut man sich das Plakat zum Rechteck (Abb. 53) genauer an, kann man Analysen zur Art der genutzten geometrischen Begriffe anstellen sowie zu den Stufen des Begriffsverständnisses nach van Hiele (1964).

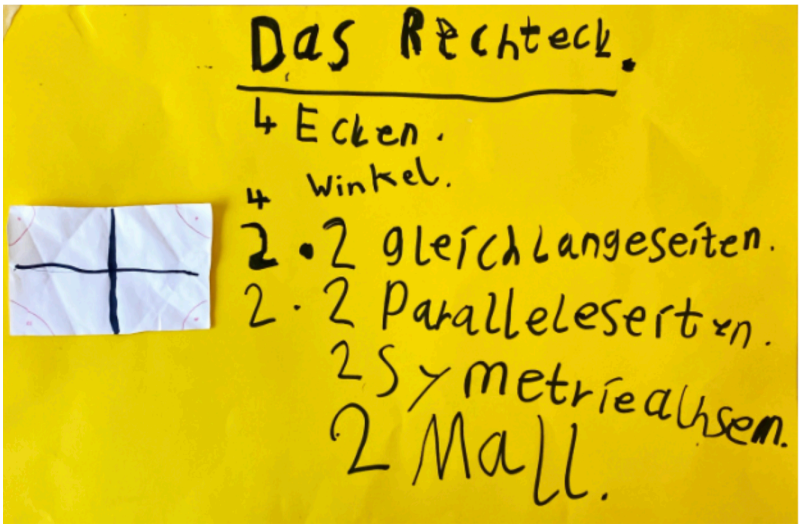


Abbildung 53: Steckbrief-Plakat für das Rechteck

In der Überschrift hat die Gruppe den Begriff Rechteck als Oberbegriff (Weigand, 2015) festgehalten und mit einer Unterstreichung von den anderen Begriffen abgetrennt und somit abgehoben. Unter dem Oberbegriff werden die Eigenschaften des Rechtecks in Form von Unterbegriffen bzw. Teilbegriffen (Weigand, 2015) dargestellt:

- weitere Objektbegriffe (Ecken, Winkel, Symmetrieachsen, Seiten)
- Maßbegriff: gleichlange Seiten
- Relationsbegriff: parallele Seiten

Auch hier wurde wieder das gemeinsam ausgehandelte fach- und aufgabenspezifische Mittel (Götze, 2015) ‚zweimal zwei parallele Seiten'(vgl. dazu Analyse 10) als Bezeichnung für die beiden Paare paralleler Seiten verwendet.

In Bezug auf die Stufen des Begriffsverständnisses nach van Hiele (1964) stellt das ausgeschnittene Rechteck als Abbildung, in der die Eigenschaften (rechte Winkel und Symmetrieachsen) eingezeichnet werden, die nullte Stufe (*räumlich-anschauungsgebundenes Denken)* dar. Das Benennen der Eigenschaften des Rechtecks ist in der ersten Stufe *analysierend-beschreibendes Denken* zu verorten (Maier, 1999, S. 101). Die Einordnung der Plakate in das Haus der Vierecke, bei der die Klassifikation der Vierecke nach ihren Eigenschaften und Relationen zueinander aufgrund von logischen Schlüssen vollzogen wird, ist dann auf der zweiten Stufe *abstrahierend-relationales Denken* zu verorten (Franke, 2007; Schipper, 2013).

Schlussfolgerungen

Aus den Plakatanalysen lassen sich Schlussfolgerungen zu drei Aspekten ableiten, die nachfolgend bezugnehmend auf die theoretischen Darstellungen der ersten drei Kapitel ausgeführt werden sollen.

Hörverstehen: Der Auftrag zur Gestaltung der Steckbrief-Plakate kann als direkter Hörauftrag definiert werden, der selbstständiges und direktes Arbeiten mit dem auditiven Medium erfordert. Dabei unterstützen focused self-explanation prompts (Wylie & Chi, 2014) die Rekonstruktion des Gehörten: Durch Fragestellung bzw. Aufgaben, die einen bestimmtem Fokus setzen, wird zielgerichtetes und selektives Zuhören (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994) angeregt und damit eine produktive Zuhörhaltung, welche die Bearbeitung der Fragestellungen und Aufgaben sowie das Generieren von deklarativem Wissen ermöglicht.

Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle: Durch die Aufforderung zur Dokumentation der Ergebnisse wird die Strukturierung der auditiv vermittelten Informationen notwendig. Dies wird unterschiedlich gelöst beispielsweise durch die Anordnung der Eigenschaften und Unterbegriffe zu einem Oberbegriff (auf den Plakaten des Quadrats und des Rechtecks). Mayer (2009) betont für das Lernen mit Medien, dass das Material den Lernenden eine Anregung für den Aufbau von Wissensstrukturen geben sollte. Die Dokumentationen der Schüler:innen geben also einen Aufschluss darauf, ob und wie diese Wissensstrukturen aufgebaut wurden. Werden zusätzlich zu schriftlichen Notationen auch Visualisierungen auf

den Plakaten festgehalten, können diese Rückschlüsse auf das (auditiv vermittelte) mentale Modell zulassen. Im Hinblick auf die anschließende Einordnung in die Begriffshierarchie stellen die erstellen Plakate außerdem eine Unterstützung im Sinne eines Wort- bzw. Wissensspeichers dar.

Fachbezogene Sprachbildung: In Bezug auf den Gebrauch fachbezogener Bildungssprache zeigt sich, dass die Beiträge als Scaffolding (Gibbons, 2002) beim Wiedergeben von Schlüsselwörtern dienen konnten (Bsp.: das Quadrat als Königin der Vierecke). Außerdem finden sich gemeinsam ausgehandelte fach- und aufgabenspezifische Mittel (die Notation „2x2“ auf den Plakaten der Raute und des Rechtecks). Als Diagnosetool lassen die Schülerprodukte hier Schlussfolgerungen über Begriffsbildungsprozesse im Hinblick auf die unterschiedlichen Stufen geometrischen Denkens zu (van Hiele, 1964).

Analyse 09: Einordnung der Raute und mentale Veränderungsprozesse

Nach der Erarbeitungsphase in Partnerarbeit, in denen Steckbriefplakate zu den einzelnen Vierecken erstellt worden sind, wurden die Ergebnisse im Plenum präsentiert und besprochen und dabei die Plakate unsortiert an die Tafel gehängt. Anschließend wurde ein großes gebasteltes Haus aufgehängt – das Haus der Vierecke - welches drei Stockwerke und mehrere leere Zimmer hat. Im obersten Stockwerk gibt es nur ein Zimmer, im mittleren zwei und im untersten drei. In dieser Unterrichtssequenz sollten die Zimmer nach und nach mit den Plakaten der Vierecke gefüllt werden. Dabei sollen die Schüler:innen begründen, warum welches Viereck in welches Zimmer des Hauses eingeordnet werden muss. Als erstes wurde das Quadrat als das Viereck mit den meisten Merkmalen („Königin der Vierecke“ MV, Z. 115) im obersten Stockwerk platziert. Zum Zeitpunkt, an dem das Transkript einsetzt, hängt also nur das erste Plakat (das Quadrat) ganz oben im Haus der Vierecke.

Die detaillierte Beschreibung und Analyse der dieser Interaktionen zugrunde liegenden beiden Plakate wurde in (Analyse 08) dargestellt.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
207 208 209	09:12	L	wer könnte denn . im ersten Stock- also **direkt** unter dem Quadrat wohnen/ *(7 Sek.) (Alisa, Tom, Sarah, Paula, Julia melden sich)* Julia\
210	09:31	Julia	die Raute\
211 212	09:31	L	die **Raute**/ . warum die Raute/ .. *(Tom, Paula und Luisa melden sich)*
213 214 215	09:36	Julia	weil . ja auf dem Plakat steht .. Sarah und Malia hams ja draufgeschrieben . und die ham noch gesagt dass sies im Text vorkamen\

Nachdem das Quadrat ausgiebig besprochen und seine Verortung ganz oben im Haus der Vierecke begründet worden ist, fragt die Lehrkraft, welches Viereck „im ersten Stock- also **direkt** unter dem Quadrat wohnen“ könnte <207-209>. Dabei drückt sie sich nicht ganz präzise aus. Direkt unter dem Quadrat kann kein Viereck wohnen. Dafür gibt es zwei Zimmer leicht nach rechts und links versetzt in der Etage unter dem Quadrat. Diese Etage wird mit „direkt unter“ gemeint sein in Abgrenzung zu der untersten Etage, die auch unter dem Dach, aber eben nicht „direkt unter“ <207> ebendiesem ist. Welches der beiden Zimmer auf dieser Etage gemeint ist, bleibt unklar. Vermutlich legt die Lehrkraft sogar gar keinen Wert darauf, welches der beiden möglichen Vierecke (Rechteck und Raute) in welchem der beiden Zimmer wohnen könnte – ihre Frage klingt jedoch so, als gäbe es nur eine richtige Lösung.

Offensichtlich ist den Kindern diese Problematik nicht bewusst, denn Julia antwortet ohne Anzeichen von Unsicherheit: „die Raute\“ <210>. Obwohl sie nicht zu der Gruppe gehört, die anhand der Audiosequenzen den Steckbrief zur Raute erarbeitet hat, kann sie dir Raute richtig einordnen. Auf Nachfrage der Lehrkraft <211> begründet sie ihre Antwort: „weil . ja auf dem Plakat steht .. Sarah und Malia hams ja draufgeschrieben . und die ham noch gesagt dass sies im Text vorkamen\“ <213-215>. Drei Aspekte sind an dieser Begründung spannend: Zum einen hat Julia unter allen fünf Plakaten der potentiell in Frage kommenden Vierecke relativ schnell (7 Sek. Pause) den Hinweis für die korrekte Beantwortung der Frage gefunden. Die Steckbriefe leisten also tatsächlich die gewünschte Hilfestellung im Sinne eines Wort- bzw. Wissensspeichers. Zum anderen kann Julia zusätzlich noch wiedergeben, was die Gruppe bei ihrer Plakat-Präsentation zu diesem Stichpunkt gesagt hat. Dies zeigt, dass sie aufmerksam zugehört hat und die Präsentation der Expert:innen von den anderen Gruppen als Wissensvermittlung angenommen wurde. Ein dritter interessanter Aspekt ist Julias Äußerung, dass die Informationen im Text vorkamen <214-215>. Tatsächlich stellte die Lehrkraft bei der Vorstellung des Plakates die Frage, ob die Information über die Platzierung im Haus der Vierecke im Beitrag vorkam, was die Gruppe bejahte (TV_2Z_4K_4S, Z. 120-126). Allerdings war an dieser Stelle die Rede vom „Beitrag“ – Julia spricht jetzt von einem „Text“ <215>. Dies kann dafür sprechen, dass Julia die Audiobeiträge als gehörte Texte wahrnimmt – tatsächlich ist die korrekte Bezeichnung auch ‚Hörtexte‘ (Wachtel, 2013). Vermutlich hat auch die Aufgabe, Informationen aus den Hörtexten herauszuschreiben, dazu geführt, dass Julia eine Ähnlichkeit zum Arbeiten mit schriftlichen Texten wahrnimmt.

An sich ist ihre Begründung kein mathematisches Argument, sondern ein ‚argumentum ad verecundiam‘ – also eine Berufung auf Autorität (Fischer & Malle, 1985). Julia beruft sich

auf die Expert:innen (ihre Mitschüler:innen), von denen sie wiederum weiß, dass diese sich auf den gehörten Text berufen. Die Arbeit mit dem auditiven Medium macht für Julia also ihre Mitschüler:innen zu vertrauenswürdigen Expert:innen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231	09:49	L	genau\ . ihr könnt mal überlegen warum denn . ausgerechnet die Raute da drunter liegt\ . klar es wurde im Beitrag genannt- . aber **warum** ist die denn jetzt unter dem Quadrat/ *(5 Sek.) (klebt das Plakat rechts unter das Plakat des Quadrats und setzt sich wieder auf seinen Platz)* überlegt mal\ . könnt euch auch schon mal die **Eigen**schaften angucken- .. gucken wos vielleicht .. im Vergleich zum . Quadrat was auffälliges gibt\ *(5 Sek.) (Tom zieht seine Meldung wieder zurück)* die Andern können auch mit äh reden\ .. *(Tom meldet sich)* Elisa Luisa . und Co\ *(6 Sek.) (die Schülerinnen kichern; Paula meldet sich)* Paula\
232	10:57	Paula	die Raute hat auch vier . gleichlange Seiten\
233 234 235 236 237	11:01	L	*(leise)* ah\ . die Raute hat auch vier gleichlange Seiten\ . *(normale Lautstärke)* das ist des .. wie was ist des zum Quadrat/ ... s müsste ne **Gemeinsamkeit** ham\ die beiden **gemeinsam**\ . ham die vielleicht noch was gemeinsam/ *(4 Sek.) (Tom und Alisa melden sich)* Tom\

Nach einer kurzen off-task Interaktion bzgl. logistischen Fragen, die das Aufhängen der Plakate betreffen, bestätigt die Lehrkraft, dass die Raute unter dem Plakat wohnt und fragt wiederholt nach einer Begründung <220-223>. Sie expliziert dabei ihre Frage und impliziert durch die Formulierung „warum denn . ausgerechnet die Raute“ <220-221>, dass es einen besonderen Grund gibt, den es zu finden gilt. Sie regt somit eine mathematische Vertiefung der Argumentation an. Außerdem macht sie deutlich, dass das Berufen auf den Radiobeitrag als Autorität (Fischer & Malle, 1985) keine ausreichende Begründung ist und regt somit zum eigenständigen Überlegen an. Die Lernenden sollen ihr Wissen über die Eigenschaften der Vierecke sowie eigene Beobachtungen nutzen, um hier eine Transferleistung zu erbringen. Den Beitrag zu hinterfragen kann im Sinne der Medienkompetenz als pädagogisches Konzept nach Baake (2001) der Dimension Medienkritik zugeordnet werden. Schüler:innen sollen lernen Information und Wissen reflektierend einzuholen, zu bewerten und eigene Schlüsse zu ziehen. Durch dieses Relativieren der Autorität des Radiobeitrages regt die Lehrkraft zu eigenen und kreativen Überlegungen an, wie sich im Folgenden noch zeigen soll.

Zuvor hängt die Lehrkraft jedoch noch das Steckbrief-Plakat der Raute in das rechte Zimmer der mittleren bzw. ersten Etage <223-224>. Sie begründet die Wahl der rechten Seite nicht, was als Zeichen dafür gesehen werden kann, dass die Position innerhalb der Etage für sie

tatsächlich irrelevant ist. Es kommt ihr auf die Beziehung bzw. den „Vergleich zum . Quadrat“ <227> an. Da sich noch kein Kind auf die letzte Frage hin gemeldet hat, gibt die Lehrkraft nach dm Aufhängen des Plakates eine neue Anregung und lenkt den Fokus betont auf die Eigenschaften: Die Schüler:innen sollen sich die Eigenschaften „angucken“ <226> und dazu nutzen, im „Vergleich zum . Quadrat was auffälliges“ <226-227> zu entdecken. Durch das „angucken“ <226> lenkt sie den Blick auf die Plakate, denen sie somit einen Wahrheitsanspruch zuteilt. Ob die Eigenschaften in den schriftlichen Notationen oder den visuellen Darstellungen der Vierecke gesucht werden, bleibt freigestellt. Durch den Hinweis auf die Eigenschaften gibt die Lehrkraft außerdem ein Gerüst für ein mathematisches Argument. Dieses Gerüst kann für verschiedene Richtungen genutzt werden. Die Formulierung „was auffälliges“ <227> erlaubt das Nennen auffälliger Gemeinsamkeiten oder auch auffälliger Unterschiede.

Paula entscheidet sich für das Nennen einer auffälliger Gemeinsamkeit: „die Raute hat auch vier . gleichlange Seiten\“ <232>. Sie nimmt also einen Vergleich beider Vierecke auf eine bestimmte Eigenschaft hin vor, was als erfolgreiche Transferleistung gewertet werden kann. Zwar ist nicht klar, ob sie die notwendigen Informationen abgelesen, an der visuellen Darstellung erkannt, oder noch von der Präsentation behalten hat, jedoch wurden die Informationen bisher nicht in Relation gestellt. Das Absuchen des behaltenen oder dargestellten Wissens auf Gemeinsamkeiten hin ist ihre eigene Leistung. Auch ist die Information über die gleichlangen Seiten auf dem Steckbrief-Plakat der Raute nicht leicht zu finden, da sie klein geschrieben und in ein Satzgefüge eingebaut ist – anders als auf dem Steckbrief-Plakat des Quadrates, wo die Information als gut lesbarer, kurzer Stichpunkt ins Auge sticht. Paulas Formulierung legt nahe, dass sie ausgehend vom Quadrat und seinen Eigenschaften die Raute und ihre Eigenschaften auf Gemeinsamkeiten absucht. Dies zeugt sowohl von einem sicheren inhaltlichen Begriffsverständnis (Vollrath, 1984) als auch von einem sich im Aufbau befindenden integrierten Begriffsverständnis (Vollrath, 1984) bzw. geometrischen Denkens auf der zweiten Stufe, dem *abstrahierend-relationalen Denken* (van Hiele, 1964).

Es folgt eine recht schwierige und ungünstig verschachtelte Äußerung der Lehrkraft, zu deren Ende hin sich die Formulierung der Frage nach weiteren Gemeinsamkeiten herauskristallisiert. Der leise Ausdruck „ah\“ <233> zu Beginn der Äußerung sowie die Strukturlosigkeit und die Pausen deuten darauf hin, dass die Lehrkraft nicht damit gerechnet hat, dass Gemeinsamkeiten, sondern dass auffällige Unterschiede genannt werden. Auf die Gemeinsamkeiten scheint sie nicht vorbereitet, weshalb sie nicht im Blick zu haben scheint, dass es gar keine weiteren Gemeinsamkeiten gibt und ihre Frage somit irreführend ist. Als

einziger Punkt könnten die beiden Paare paralleler Seiten genannt werden. Da jedoch auf dem Steckbrief-Plakat der Raute ungünstigerweise vier parallele Seiten festgehalten sind, ist dies als unwahrscheinlich anzunehmen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
238 239	11:21	Tom	wenn man die Raute n bisschen dreht siehts auch . ähnlich aus wie ein Quadrat\
240	11:26	Paula	nur so n bisschen zurecht**z i e h n**#
241	11:28	Tom	#ja\#
242	11:28	Paula	#und dann äh#
243	11:30	Tom	#hätte ähnlich sehen dann
244	11:31	L	wie meint ihr das denn mit dem ziehn/ *(Alisa meldet sich)*

Da die Frage der Lehrkraft nach weiteren Gemeinsamkeiten keinen Sinn macht – und wegen der oben angesprochenen Anregung eigener und kreativer Begründungen, die über das Berufen auf die Autorität der Radiosendung hinausgehen – ist es nicht verwunderlich, dass Tom an dieser Stelle einen ungewöhnlichen, kreativen und vermutlich unerwarteten Ansatz vorschlägt. Er verlässt die Perspektive der einzelnen Eigenschaften, nimmt wieder einen globalen Blick auf die optische Ähnlichkeit der Vierecke ein und startet einen Prozess mentaler Vorstellungshandlungen <238-239>. Zuallererst lässt sich festhalten, dass das Quadrat auf dem Steckbrief-Plakat in einer sehr untypischen Position befestigt wurde. Normalerweise wird das Quadrat meist auf einer seiner Seiten ‚stehend' abgebildet. Da das Quadrat hier etwas schief, fast schon auf der Spitze stehend befestigt wurde, müsste man die Raute in der Tat nur „n bisschen" <238> drehen, um sie dem Quadrat „ähnlich" <238> zu machen. Toms Vorstellungshandlung der Rotation sowie sein Ergebnis, dass die Raute dem Quadrat dann immer noch nur ähnlich sieht (weil die Größe der Winkel noch unterschiedlich ist), können als beachtliche Leistung im Bereich des räumlichen Vorstellungsvermögens bzw. der Teilkomponente ‚Räumliche Beziehungen (spatial relations)' (Franke, 2007) gewertet werden.

Interessant ist weiterhin, dass Tom konkret „die Raute" <238> auf dem Plakat zu meinen scheint, aber für den Vergleich „ein Quadrat" <239> heranzieht, also ein beliebiges, welches nicht unbedingt das Quadrat auf dem Plakat sein muss. Es kann also angenommen werden, dass er hier sein Vorstellungsbild eines Quadrates nutzt und deshalb generalisierend schlussfolgern kann, dass ein Quadrat im Hinblick auf die Relation der Winkel immer gleich ist. Rauten können jedoch je nach Relation der Winkel ganz unterschiedlich aussehen – und damit auch dem Quadrat unterschiedlich ähnlich sehen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll und richtig, dass Tom an dieser Stelle verdeutlicht, welche Art Raute er meint – nämlich „die Raute" <238>, wie sie auf dem Plakat zu sehen ist. Die Besonderheit dieser Raute ist, dass ihre Winkel fast rechte Winkel sind und sie deshalb nach Tom's Rotation dem Quadrat so „ähnlich" <238> sieht. Bei

einem anderen Winkelverhältnis würde eine eher langgezogene Raute auch nach der Rotation dem Quadrat nicht ähnlich sehen.

Paula meldet sich zu Wort und geht auf den von Tom angeregten Prozess der mentalen Manipulation ein. Sie ergänzt, dass man seine gedrehte Raute „nur so n bisschen zurecht**z i e h n**“ <240> muss, um die Transformation zum Quadrat zu vollenden. Damit meint sie vermutlich eine winkelverändernde Handlung: das Auseinanderziehen der beiden gegenüberliegenden Ecken mit den stumpfen Winkeln, bis diese zu rechten Winkeln werden. Paula zeigt sich in dieser Interaktion sehr involviert, kann Tom folgen und seinen Gedankengang bzw. sein kommunizierte Vorstellungshandlung weiterentwickeln. Auch Tom scheint Paulas Ergänzung zu verstehen und bestätigt sie <241>. Gemeinsam beenden sie in einer kurzen unvollständigen Interaktion ihren Gedanken. Paulas Satzanfang „und dann äh“ <242> setzt Tom fort mit „hätte ähnlich sehen dann“ <243>. Hier wollen sie vermutlich den Endzustand beschreiben der „dann“ <242> erreicht ist, wenn beide Vorstellungshandlungen vollzogen sind. Dieser Endzustand „hätte ähnlich sehen“ <243>, neu entstandene Eigenschaften wie das Quadrat: die rechten Winkel. Gemeinsam entwickeln Tom und Paula also einen zweistufigen Prozess, der sowohl das mentale Bewegen eines Objektes als auch das noch anspruchsvollere mentale Bewegen von Teilen dieses Objektes erfordert, durch welches das Objekt an sich verändert wird. Durch das „zurecht**z i e h n“** <240> hebt Paula die Vorstellungshandlung von der Ebene der Transformationen eines Objektes ohne die Veränderung seiner Gesamtgestalt (durch Rotation) also auf die Ebene der Veränderungen innerhalb einer Figur. Damit ist zusätzlich zur – in Toms Äußerung sichtbaren – Teilkomponente des räumlichen Vorstellungsvermögens *Räumliche Beziehungen (spatial relations)* nun auch die Teilkomponente *Veranschaulichung (visualization)* erkennbar (Franke, 2007).

Paulas Aussage in <232> bezog sich zwar noch auf die Eigenschaften, es ging aber schon nicht mehr um Unterschiede im Hinblick auf ebendiese, sondern um Gemeinsamkeiten. Mit den Vorstellungshandlungen vertieft sich diese Perspektive. Gemeinsamkeiten werden nicht nur gesucht, sondern auch durch Veränderungsprozesse hergestellt. Das Ziel dabei ist die Herstellung einer möglichst deckungsgleichen Abbildung. Ist dies mit geringem Manipulationsaufwand „nur so n bisschen“ <240> bzw. wenigen Schritten der Rekonstruktion möglich, dann scheint dies für die beiden Lernenden ein Zeichen für einen engen Verwandtschaftsgrad zu sein. Damit entziehen sie sich zwar dem statischen Vergleich und der Frage nach bzw. dem Versprachlichen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden im Hinblick auf die Eigenschaften, wie ursprünglich von der Lehrkraft geplant, jedoch zeigen sie dafür

spannende Einblick in ihr räumliches Vorstellungsvermögen und stehen auch hier vor einer produktiven Herausforderung in Bezug auf die Versprachlichung.

Dies scheint auch der Lehrkraft bewusst zu sein, denn sie steuert nicht zu ihrem eigentlichen Anliegen zurück, sondern geht auf die Äußerungen der Kinder ein und fragt vertiefend nach: „wie meint ihr das denn mit dem ziehn/“ <244>. Sie fordert hiermit einerseits eine präzisiere Versprachlichung ein und andererseits eine vertiefende Erläuterung, um das Verständnis der mentalen Manipulation in der gesamte Lerngruppe zu sichern.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
245 246 247 248	11:34	Tom	also . w e n n die Rau die Raute hat ja .. schräge Seiten\ wenn man die jetzt . *(macht mit der Hand eine Drehbewegung nach links)* so drehn würde dann hätte man ja so solche Seiten\ *(deutet mit dem Arm schräge Seiten an)*
249	11:44	L	ja/
250 251 252	11:44	Tom	dann muss man die oben son . wie son bisschen **schieben** dann hätte man so welche\ dann hätte man auch ein Quadrat\#

Tom geht auf die Aufforderung ein und versucht seine Vorstellungshandlung zu verdeutlichen. Dazu erläutert er in <245-248> die Rotation der Raute und auf die Anregung der Lehrkraft zum Weitersprechen <249> die Winkelveränderung, welche die Raute zum Quadrat macht <250-252>. Dabei versucht er die Veränderungen, Zwischen- und Endzustände präziser zu versprachlichen. Er erklärt, dass die Raute nur „schräge Seiten“ <245> hat. Durch die Rotation bringt er die Raute in die typische Parallelogramm-Position, in der die Figur quasi auf einer horizontalen Seite steht. In dieser Position ist die Parallelität der Seiten einfacher zu erkennen. Neben dem horizontalen Seitenpaar gibt es noch „solche Seiten“ <248>, die zwar immer noch schräg sind, aber jetzt von dem Schüler als paralleles Seitenpaar erkannt werden. Scheinbar ist ihm dieses Muster in der Ausgangsposition nicht bewusst gewesen. Bei der auf der Spitze stehenden Raute wurden einfach alle Seiten als „schräge Seiten“ <245> wahrgenommen. Die Rotation und Veränderung der Position zum Liegen auf einer horizontalen Seite scheint Tom geholfen zu haben, Strukturen innerhalb der Figur zu erkennen und die weitere Annäherung an das Quadrat vorzubereiten. Er unterstützt seine Externalisierung des mental Vorgestellten mit Handbewegungen, was als Hilfsmittel kopfgeometrischer Aufgaben in Phase 3 gewertet werden kann (Senftleben, 1996). Da die Figuren an der Tafel zu sehen sind, ist außerdem ein visuelles Hilfsmittel in Phase 1 gegeben. Die Vorstellungshandlung an sich hat jedoch sowohl bei Paula als auch bei Tom mental stattgefunden.

Nach der Rotation beschreibt Tom den zweiten Schritt der mentalen Manipulation <250-252>. Ausgehend von dem schrägen, parallelen Seitenpaar, das er eben noch angezeigt hat,

erklärt er jetzt, dass man diese Seiten oben „son bisschen **schieben**“ <250> muss, damit ein Quadrat entsteht. Da die Winkel der an der Tafel abgebildeten Raute sich in ihrer Größe nicht allzu sehr von den rechten Winkeln eines Quadrates unterscheiden, muss man hier nur ein „bisschen“ <250> an Winkelveränderung vornehmen. Nach der Rotation, die für Tom eine große Veränderung dargestellt zu haben scheint, wird jetzt nur noch eine kleine Korrektur an den Seiten vorgenommen. Es entstehen „so welche\“ <251>, wobei nicht ganz klar ist, ob er hiermit vertikale Seiten oder rechte Winkel meint. In jedem Fall umgeht er diese fachsprachliche Lücke gekonnt mit der alternativen fachsprachlichen Erklärung „dann hätte man auch ein Quadrat\“ <251-252>. Im Vergleich zu seiner Äußerung in <238-239> hat Tom es also mithilfe von Paulas Ergänzung <240> geschafft, die Raute nicht nur zu einer Figur zu rekonstruieren, die dem Quadrat ähnlich sieht, sondern die ein Quadrat deckungsgleich abbildet. Den Begriff „schieben“ <250> scheint er synonym zu Paulas Begriff „ziehn“ <240> zu nutzen. Es kann angenommen werden, dass Paula mental von links an den Seiten oder Ecken zieht, während Tom mental von rechts nach links schiebt. Die Richtung der Verschiebung bleibt dabei jedoch gleich. Wie schon in <238-239> spricht Tom wieder davon, dass die Raute manipuliert wird und dadurch ein Quadrat entsteht, was wiederholt zeigt, dass er von der Raute ausgeht, die am Plakat befestigt ist, und diese mit seinem Vorstellungsbild eines (unspezifischen) Quadrates vergleicht bzw. sie zu einem solchen transformiert. Er hat also ein festes und sicheres Vorstellungsbild eines Quadrates.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
254 255 256 257 258 259 260 261	11:52	L	**senkrecht** und **waag**recht müssen die Seiten sein- . und was verändert sich denn dadurch dass man das . sozusagen auseinander zieht/ ... was **verändert** sich dadurch im Vergleich zum Quadrat\ *(5 Sek.) (Tom meldet sich) (unv.)* das haben die Beiden richtig gut erkannt\ . *(Tom zieht seine Meldung zurück)* ne d die sieht so n bisschen wie ein ver**zogenes** . Quadrat aus\ .. und was verändert sich dadurch/ .. *(Julia und Tom melden sich)* Julia\
262	12:20	Julia	das . die Raute keine ... rechten Winkel mehr hat\

Paulas Äußerung knüpft direkt an die Erläuterungen von Tom an. Sie scheint dringlich ergänzen zu wollen, „dass die Seiten äh senkrecht und waagrecht sind\“ <253>. Sie konnte Tom also folgen und präzisiert seine unvollständige Beschreibung der Seiten („so welche\“ <251>) mit zwei Fachbegriffen, die bisher weder im Radiobeitrag noch im Unterricht genannt worden sind. Auch auf den Plakaten sind sie nicht aufgeführt. Dies zeigt, dass die Kinder gänzlich gelöst von den Notationen auf dem Plakat in der Arbeit mit und an den eigenen Vorstellungsbildern vertieft sind. Mit der Beschreibung „waagerecht und senkrecht“ <253> könnte Paula zum einen

die Lage der Seiten im Raum meinen. Zum anderen könnte sie auch das Verhältnis der Seiten zueinander und damit die rechten Winkel zu beschreiben versuchen.

Die Lehrkraft wiederholt Paulas Aussage und die von ihr eingebrachten Fachbegriffe mit leicht verändertem Satzbau <254>. Dadurch macht sie die Eigenschaft der waagerechten und senkrechten Seiten zu einer notwendigen Eigenschaft des Quadrates. Dies zeigt, dass sie Paulas Äußerung im Sinne der zweiten Deutungsmöglichkeit, den rechten Winkeln, versteht. Es folgt eine neue Fragestellung <254-261>, mit der die Lehrkraft vermutlich weg von der Beschreibung der Seiten hin zu der Winkelveränderung leiten will. Problematisch ist hierbei, dass man das Viereck Raute „sozusagen auseinander zieht/“ <255-256>. Hier offenbart sich eine ganz andere Vorstellungshandlung. In nur einem Schritt ohne vorherige Rotation wird das „verzogene Quadrat“ <260> auseinandergezogen bzw. gestreckt und damit die stumpfen Winkel rechts und links zu rechten Winkeln verkleinert. Die Lehrkraft hat also entweder die Ausführungen von Paula und Tom falsch verstanden oder nicht richtig zugehört und bei dem „zurechtz i e h n“ <240> von Paula gedacht, dass die Kinder die gleiche mentale Manipulation vornehmen wie sie. Es existieren jetzt also zwei mögliche Wege der Transformation von der Raute zum Quadrat.

Nachdem die vorangegangene Aushandlung hauptsächlich zwischen Paula und Tom stattgefunden hat, meldet sich jetzt wieder Julia zu Wort und antwortet auf die Frage, was sich durch die mentale Manipulation verändert hat <255-261>: „das . die Raute keine ... rechten Winkel mehr hat\“ <262>. Die Frage der Lehrkraft ging zwar (wie auch die Erklärungen von Paula und Tom) in die Richtung der Veränderung von der Raute zum Quadrat, Julia beschreibt aber die Veränderung vom Quadrat zur Raute. Schaut man sich die Raute an, so hat sie im Vergleich zum Quadrat „keine ... rechten Winkel mehr“ <262>, als wären diese einfach verschwunden. Es ist möglich, dass Julia dies einfach vom Plakat der Raute abgelesen hat, denn dort ist direkt unter der Abbildung der Raute notiert: „Sie hat keine rechten Winkel“ (Analyse 08). Gestärkt wird diese Annahme von der Tatsache, dass Julia diejenige war, die in <213-215> auf das ‚argumentum ad verecundiam‘ verwiesen hat – die Notation auf dem Plakat und die Erklärung in der Radiosendung als Berufung auf Autorität (Fischer & Malle, 1985). Trotzdem kann auch ihr hier durch den kleinen Zusatz „mehr“ <262> das geometrische Denken auf der zweiten Niveaustufe, dem abstrahierend-relationalen Denken zugesprochen werden (van Hiele, 1964). Die Eigenschaft „keine ... rechten Winkel“ <262> – abgelesen oder nicht – wird in Relation zur Eigenschaft des Quadrates gesehen und mit den mentalen Veränderungsprozessen ihrer Mitschüler:innen in Zusammenhang gebracht. Durch das Transformieren eines Quadrates zu der (spezifischen) Raute auf dem Plakat verliert die Figur ihre rechten Winkel. Julia konnte

also allen bisherigen Ausführungen gut folgen und bringt nun die Veränderung der Eigenschaften – wenn auch in einer anderen Richtung – gekonnt und unter Verwendung fachsprachlicher Elemente auf den Punkt.

Ihre Aussage und die Richtung ihrer Beschreibung passt außerdem sehr gut zum Aufbau der Begriffshierarchie im Haus der Vierecke. Die Lernenden haben im Radiobeitrag gelernt, dass das Quadrat als Königin der Vierecke die meisten Eigenschaften besitzt und deshalb ganz oben im Haus wohnt (MV, Z. 115). Nach unten hin werden die besonderen Eigenschaften immer weniger. So hat auch die Raute, wie Julia richtig erkannt hat, ein Stockwerk unter dem Quadrat „keine ... rechten Winkel mehr“ <262>. Auch aus diesem Grund kann Julia auf der zweiten Niveaustufe geometrischen Denkens, dem abstrahierend-relationalen Denken, verortet werden (van Hiele, 1964) und ihr Begriffsverständnis dem integrierten Begriffsverständis zugeordnet werden (Vollrath, 1984).

Schlussfolgerungen

Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle: Die in diesem Abschnitt analysierte Unterrichtssequenz zeigt unterschiedliche Herangehensweisen der Erklärung der Verwandtschaft von Quadrat und Raute. Nachdem zuerst mithilfe der Eigenschaften optische Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Figuren beschrieben wurden, ist anschließend – durch einen Schüler initiiert – ein zweischrittiger mentaler Veränderungsprozesse (Rotation der Raute, schieben und ziehen der Seiten bzw. Ecken) vorgenommen worden, durch den die Raute zu einem Quadrat rekonstruiert wurde. Durch die simplen Veränderungen, verdeutlichten die Schüler:innen auf kreative Weise, dass die Figuren auseinander hervorgehen können und begründeten die Verwandtschaft der beiden Vierecke. Da Begründungen dieser Art weder im Radiobeitrag noch im Unterricht vorkamen, verkörpern sie eine beachtliche Transferleistung. Sie stellten damit zum einen ihr räumliches Vorstellungsvermögen, insbesondere die Teilkomponenten ‚Räumliche Beziehungen (spatial relations)‘ und ‚Veranschaulichung (visualization)‘ unter Beweis (Franke, 2007). Zum anderen werden Kompetenzen im geometrischen Denken (abstrahierend-relational) sichtbar, da nicht nur die Beziehungen einzelner Vierecke zueinander verstanden und kommuniziert werden, sondern auch die Begriffshierarchie als solche bzw. die Logik hinter der Anordnung der Vierecke erkannt wird. Bei den Argumentationen werden zum einen die Notationen auf den Plakaten genutzt, die in Partnerarbeit selbstständig mithilfe der Radiobeiträge erarbeitet wurden, und zum anderen individuelle Vorstellungsbilder wie beispielsweise das Vorstellungsbild ‚eines‘ Quadrates,

welches mit einem spezifischen Viereck (der Raute) abgeglichen wird. Die Versprachlichung der mentalen Manipulationen stellen eine produktive Herausforderung dar, welche die Verwendung von Fachbegriffen (Seite, oben, waagerecht, senkrecht, rechte Winkel) sowie das Finden von Bezeichnungen für die operativen Veränderungsprozesse (Schieben, ziehen) notwendig macht.

Hörverstehen: Als weiterer interessanter Aspekt kann das Anbahnen von Teilkomponenten der Medienkompetenz genannt werden. Durch das Hinterfragen der Aussagen in der Radiosendung und der auf ihnen beruhenden Notationen auf den Plakaten, wird die Problematik des ‚argumentum ad verecundiam' bzw. der Berufung auf Autorität (Fischer & Malle, 1985) angesprochen. Durch die Anregung zu eigenen Begründungen und Transferleistungen werden kreative und selbstständige Wege der Argumentation initiiert. Aus diesem Grund kann auch die unerwartete Herangehensweise über die Vorstellungshandlungen in dreifacher Hinsicht als produktiv und sinnvoll gewertet werden: im Hinblick auf Medienkompetenz, geometrisches Denken und die Verwendung von Bildungssprache.

Analyse 10: Einordnung des Rechtecks und Begriffsverständnis

Zum Zeitpunkt, an dem das Transkript einsetzt, wurde bereits das Quadrat als das Viereck mit den meisten Merkmalen („Königin der Vierecke", MV, Z. 115) im obersten Stockwerk und nachfolgend die Raute ganz rechts in die mittlere Etage platziert sowie das Rechteck links daneben. Anschließend hat die Lehrkraft ein Gespräch über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem Rechteck und dem Quadrat angeregt. Nachdem eine Schülerin schon festgehalten hat, dass beide Vierecke vier rechte Winkel besitzen, kommt es zu folgender Interaktion:

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
411 412	18:00	Alisa	das Quadrat und des Rechteck ham . beide zweimal zwei parallele Seiten\ . *(Tom und Laura melden sich)*
413 414	18:06	L	genau\ sehr gut\ . auch ne Gemeinsamkeit- . Tom hast ne Frage/
415 416 417	18:10	Tom	mhm *(nickt und zeigt auf eine bestimmte Stelle auf dem Plakat)* äh unten steht mit zweimal was\ was soll das bedeuten/ ..
418 419	18:16	L	was kann das bedeuten/ vielleicht kann das die Gruppe nochmal wiederholen\
420 421	18:19	Tom	*(unv.)* zweimal und hinter den Symmetrieachsen is ja n Punkt\
422 423	18:22	L	ja- . was könnt das zweimal bedeuten/ . Jens\ ihr habt des gemacht\ was heißt denn das zweimal/

Alisa wird drangenommen und führt das Zusammentragen der Gemeinsamkeiten von Quadrat und Rechteck weiter. Sie stellt fest, dass beiden Vierecke „zweimal zwei parallele Seiten\“ <411-412> haben. Diese Formulierung ist so auf beiden Plakaten zu finden – jeweils mit der symbolischen Darstellung des Malzeichens. Alisa ist in der Lage, den Term 2*2 als Beschreibung für die Anzahl und das Verhältnis der parallelen Seiten zueinander zu identifizieren und als verbale Beschreibung zu nutzen. Dass sie die Formulierung auf den Plakaten nutzt, die bei der Erarbeitung der Steckbriefe von den jeweiligen Gruppen so festgehalten wurden, ist ein schönes Beispiel für die Existenz der in Kapitel 4.3.6 beschriebenen Unterrichtsfachsprache, mit der Tiedemann (2015) die von der Lerngruppe notwendigerweise als gemeinsame Sprache ausgehandelte, akzeptierte und aktiv verwendete Fachsprache bezeichnet, da es *die* Fachsprache nicht gibt.

Im Radiobeitrag lauteten die Formulierungen, die das Verhältnis der Seiten zueinander betreffen: „sind die gegenüberliegenden Seiten parallel“ (MV, Z. 196-197) oder „die gegenüberliegenden Seiten sind gleichlang (MV, Z. 181). Der Ausdruck „gegenüberliegend“ schien den Schüler:innen jedoch Probleme zu bereiten, sodass in der ersten Stunde bei der Besprechung der Eigenschaften des Quadrates ein „fach- und aufgabenbezogenes sprachliches Mittel“ (Götze, 2015, S. 17) gemeinsam ausgehandelt wurde. Dort hatte Alisa bemerkt, dass jeweils zwei Seiten des Quadrates (die gegenüberliegenden) parallel zueinander sind und deshalb jeweils zwei Seiten zusammengehören (TV_2Z_4K_1S, Z. 561-567). Nachdem sie die Seitenpaare farbig markiert hat (ein Paar in Grün, ein Paar in Gelb), fasst die Lehrkraft das Muster mit der Formulierung „genau\ . also so en Quadrat hat zwei mal zwei . parallele Seiten\“ zusammen (TV_2Z_4K_1S, Z. 574-575). Gemeint sind also zwei Paare von parallelen Seiten, die jeweils zusammengehören, wie Alisa festgestellt hat. Diese Formulierung wurde im weiteren Unterrichtsverlauf mehrfach verwendet und deshalb auch bei der Erarbeitung der Steckbriefe auf den Plakaten festgehalten. Als „fach- und aufgabenbezogenes sprachliches Mittel“ dient „zwei mal zwei . parallele Seiten\“ <411-412> also der Verständigung und hilft den Lernenden dabei, Entdeckungen oder Strukturen zu beschreiben und sich mit anderen über sie auszutauschen (Götze, 2015). Auch Alisa bedient sich hier der gemeinsam ausgehandelten und sukzessive in die Unterrichtsfachsprache aufgenommenen, aufgabenbezogenen sprachlichen Mittel, sodass verständliche Kommunikation in der Lerngruppe als gesichert angenommen werden kann – auch wenn sie für Außenstehende auf den ersten Blick ungewohnt oder schwer nachzuvollziehen scheint. Diese ausgehandelten sprachlichen Mittel zeugen von der individuellen Auseinandersetzung der Lerngruppe mit der Thematik der Klasse, aufgrund derer sich diese neue sprachliche Struktur entwickelt hat.

Wie man auf dem Plakat (Abb. 53) erkennen kann, haben die Schüler:innen versucht, durch die symbolische Darstellung der Anzahlen und Verhältnisse der Eigenschaften, die Plakate möglichst präzise und übersichtlich zu gestalten. Aus diesem Grund sind viele Zahlen und Terme auf dem Plakat zu finden. Neben dem Term 2*2 für die gleichlangen und parallelen Seiten ist ganz unten noch „2 Mall“ notiert. Da diese Formulierung zum einen Ähnlichkeit zu dem sprachlichen Mittel aufweist, zum anderen aber ohne weitere Erklärung alleine dasteht, sorgt dies bei den Kindern, die dieses Plakat nicht mit gestaltet haben, für Verwirrung. Tom fragt deshalb nach: „zweimal was\ was soll das bedeuten/“ in <416-417>. Dass er hiermit die unterste Notation des Plakates meint, wird deutlich, als er in <420-421> begründet, dass diese Notation als eigenständiger Punkt auf dem Plakat steht, da der vorherige Stichpunkt mit einem Punkt abgeschlossen ist. Sie kann sich also nicht mehr auf die in der Zeile vorher notierten Symmetrieachsen beziehen. Auch seine Betonung gibt einen Hinweis darauf. Die Lehrkraft hebt die Verwirrung nicht direkt auf, sondern leitet die kritische Nachfrage an die Gruppe weiter, die dieses Plakat erstellt hat. Auf diese Weise gibt sie der Gruppe die Chance, durch eine Erklärung oder einen Erklärungsversuch ihr eigenes Wissen zu festigen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
424	18:28	Jens	haja . **zweimal zwei** halt\
425 426 427	18:31	L	ne unten steht ja nochmal **zwei mal** *(Lisa steht auf, läuft zum Plakat der Vierecke und zeigt auf die entsprechende Stelle)*
428	18:33	Schüler:in	zwei mal\
429	18:35	Jonas	ja des kann sich zwo mal drehn\
430	18:36	L	ah ja\
431	18:36	Jens	ja des kann sich **zweimal** drehn\
432	18:37	L	ah\#
433	18:38	Jens	#deswegen ham wir **zweimal** hingeschrieben\

Jens wurde zwar in <422> von der Lehrkraft drangenommen, hat sich jedoch nicht gemeldet, weshalb es nicht verwunderlich ist, dass er jetzt keine bzw. nicht direkt die korrekte Antwort gibt. Seine Aussage „zweimal zwei halt\“ <424> zeigt, dass er gedanklich in einer anderen Zeile ist. Er hat also Toms Nachschub in <420-421> nicht verstanden, durch den deutlich werden kann, dass er mit „zweimal“ <416> nicht den Term 2*2, sondern die Notation „2 Mall“ (Abb. 53) meint. Die Lehrkraft erkennt das Missverständnis und erwähnt die entsprechende Notation <425>, während Alisa nach vorne zum Haus der Vierecke läuft und am Plakat auf dieselbe zeigt. Es kann also angenommen werden, dass Toms Frage doch verständlich war und Jens nur nicht aufgepasst hat. Oder aber Alisa hat sich dieselbe Frage gestellt und weiß deswegen sofort, wovon Tom spricht.

In jedem Fall war Jens‘ Antwort weder für die Lehrkraft noch für seine Mitschüler zufriedenstellend, weshalb sein Gruppenpartner Jonas einspringt und die Situation auflöst mit der Antwort: „ja des kann sich zwo mal drehn\“ <429>. Damit erläutert er, dass es sich bei der Notation um zwei Drehungen handeln sollte und ergänzt somit die Information, die auf dem Plakat fehlt und diesem Aspekt missverständlich machte. Gemeint ist mit den beiden Drehungen die Drehsymmetrie, auf welche hin jede Gruppe ihr Viereck untersuchen sollte. Die Äußerung ist allerdings nicht konkret genug, denn drehen kann sich ein Rechteck beliebig oft. Um die Drehsymmetrie korrekt zu beschreiben, müsste zusätzlich der Winkel der Drehung benannt werden (in diesem Fall: das Rechteck kann zweimal um 180 Grad gedreht werden, um wieder auf sich selbst abgebildet zu werden). Drehungswinkel wurden bisher in der Lerngruppe jedoch noch nicht besprochen – und stehen auch nicht für die vierte Klasse im Lehrplan. In diesem Sinne ist die Äußerung „des kann sich zwo mal drehn\“ <429> ein guter sprachlicher Versuch, das eben fachsprachlich beschriebene Phänomen zu benennen. Auch andere Gruppen haben ähnliche Ausdrücke für die Beschreibung der Drehsymmetrie ihrer Vierecke gefunden

Diese Ausdrucksweise geht auf eine Äußerung des Radiobeitrages zurück und wurde in der ersten Unterrichtsstunde bei der gemeinsamen Erarbeitung der Eigenschaften des Quadrates ausgehandelt. Sie kann deshalb wieder als Unterrichtsfachsprache (Tiedemann, 2015) bzw. fach- und aufgabenspezifisches sprachliches Mittel (Götze, 2015) zur Drehsymmetrie identifiziert werden und soll deshalb an dieser Stelle in einem kurzen Exkurs erörtert werden. In der Audiosequenz, in der das Quadrat auf seine Symmetrien hin untersucht wird, wurde von einer Kinderstimme Folgendes gesagt „Es ist egal, wie rum man das Quadrat dreht, es sieht immer gleich aus“ (MV, Z. 129-130). Diese Äußerung ist irreführend, wenn auch korrekt. Eine Figur verändert nicht ihre Form, wenn sie gedreht wird. Theoretisch sieht also jede Form – auch jedes Viereck – immer gleich aus, egal wie man es dreht. Gemeint sind hier die 90, 180, 270 und 360 Grad Drehungen, bei denen das Quadrat wieder deckungsgleich zu seiner Ursprungsposition ist. Bei einer 45 Grad Drehung beispielsweise sieht das Quadrat theoretisch immer noch gleich aus, da es sich in seiner Form nicht verändert hat, kann jedoch durch seine Position eher als Raute gelesen werden. Dies wurde auch schon von Alisa bemerkt „so siehts eher aus wie ne **Raute**\“ (TV_2Z_4K_1S, Z. 1012). Zur Klärung und Festigung griff die Lehrkraft den irreführenden Aspekt auf und erarbeitet mit den Schüler:innenn, was die Aussage aus dem Beitrag bedeuten könnte. Jonas erkennt bereits, dass man das Quadrat viermal drehen kann (was nicht im Beitrag genannt wurde), damit es „gleich aussieht“ (TV_2Z_4K_1S, Z. 966-975). Gemeint sind vier 90 Grad Drehungen – eine Bezeichnung, die er noch nicht kennen kann. Seine Formulierung scheint jedoch für alle verständlich, dass es an dieser Stelle keine Fragen,

Verwirrung oder Korrektur von der Lerngruppe gibt. Auch scheint allen klar zu sein, wie seine vier Drehungen am Material zu rekonstruieren ist, was auch dafürspricht, dass hier ein aufgabenspezifisches sprachliches Mittel eingeführt, akzeptiert und verwendet wird. Anhand eines Drehmodells (Abb. 24 in Kap. 5.2.7) führte die Lerngruppe die Drehungen am Material durch und überprüfte so Jonas' Erkenntnis (TV_2Z_4K_1S, Z. 976-997): Ein gelbes Quadrat ist mit einer Reißzwecke auf einer Papp-Unterlage befestigt auf der ein roter Umriss eines Quadrates gezeichnet wurde. Das gelbe Quadrat lässt sich also drehen und mit dem roten Umriss seiner „Startposition" auf Deckungsgleichheit überprüfen. Es wurde wiederholt, dass beim Quadrat vier Drehungen möglich sind, ohne die Gradzahl der Drehungswinkel zu benennen. Die Lehrkraft hält abschließend fest: „genau\ . also wenn das Quadrat *(hält die Vorlage hoch)* hier . viermal zur Deckung kommt (…) dann kann man sagen dass es . drehsymmetrisch ist\ und zwar bei vier Drehungen\" (TV_2Z_4K_1S, Z. 1058-1062). Damit ist die irreführende Aussage des Beitrages konkretisiert und trotz sprachlicher Ungenauigkeit für den Wissensstand der Schüler:innen angemessen. Aus diesem Grund wurde von der Gruppe, die den Steckbrief des Quadrates erstellt hat, auf dem Plakat die Formulierung „drehsymmetrisch bei 4 Drehungen" notiert (Abb 51).

Dieser Exkurs ist ein gutes Beispiel für die Notwendigkeit, auditive Medien genau auf ihre fachliche Richtigkeit und auf mögliche sprachliche Stolpersteine (Bastians, 2018; Abshagen, 2015) hin zu untersuchen, bevor sie genutzt werden, und Schwierigkeiten im Unterricht aufzufangen, zu umgehen (durch Herausschneiden der entsprechenden Sequenzen) oder zu thematisieren. Schwierige, falsche oder irreführende Sequenzen können als Anlass zu genommen werden, die korrekte Wissensbasis gemeinsam zu erarbeiten – ebenso wie es in diesem Exkurs angestrebt wurde. Ergebnisse können dann individuelle fach- und aufgabenspezifische sprachliche Mittel sein (Götze, 2015), welche die Verständigung und den fachlichen Austausch in der Lerngruppe ermöglichen.

Durch die bestätigende Antwort in <430> signalisiert die Lehrkraft, dass der Kontext der Drehsymmetrie nun verständlich und die Frage aus <473-474> beantwortet ist. Jens wiederholt daraufhin in fast identischem Wortlaut die Erklärung von Jonas und korrigiert „zwo mal" <429> zum hochdeutschen und vermutlich in seinen Augen mathematischeren oder professionelleren Ausdruck „ja des kann sich zweimal drehn\" <431>, den er auch betont. Er schließt die Diskussion ab mit der Erklärung „deswegen ham wir zweimal hingeschrieben\" <433>. Durch die Nachfragen der anderen Kinder ist deutlich geworden, dass die Notation auf dem Plakat eines Kontextes bedarf. Dass dieser Kontext nicht gegeben war, kann nach Zimpel (2016) ein Zeichen für egozentrische Sprache sein. Sowohl Jonas als auch Jens schien nicht

bewusst zu sein, dass ihre Notation so für die Rezipient:innen ihres Plakates nicht nachvollziehbar sein kann. Beim Ergänzen des fehlenden Kontextes, nutzen beide nur den Begriff ‚drehen'. Dieser stellt einen Teilbegriff des gesuchten Oberbegriffs ‚Drehsymmetrie' dar (Weigand, 2015, S. 268), durch den der Inhalt erläutert werden kann – auch wenn der Oberbegriff selbst noch nicht angewandt wird.

Anschließend an diese Interaktion vertieft die Lehrkraft das Gespräch deshalb, um die Formulierung zu konkretisieren, und leitet durch dezidiertes Nachfragen hin zur Begriffsbezeichnung für die Drehsymmetrie, die tatsächlich auch von einer Schülerin genannt wird, obwohl sie auf keinem Plakat notiert wurde und deshalb nicht abgelesen werden konnte. Da dieser Begriff nicht durch den Radiobeitrag eingeführt wurde, soll die entsprechende Interaktion an dieser Stelle nicht weiter analysiert werden. Im Sinne Weigands (2015) kann der Begriffsinhalt der Drehsymmetrie durch Teilbegriffe erklärt werden, auch wenn der Oberbegriff selbst noch nicht im flüssigen Output (Meaney et al., 2012) gebraucht wird und das Konzept noch nicht in seiner ganzen Komplexität vollumfänglich erfasst wurde.

In der nachfolgenden Interaktion wird gemeinsam eine Begründung erarbeitet, weshalb das Rechteck und die Raute unter dem Quadrat einzuordnen sind. Dabei gehen die Schüler:innen zunächst auf das ähnliche Aussehen der Vierecke ein und beschreiben dann anhand ihrer Vorstellungshandlungen, dass nur wenige operationale Schritte nötig sind, um ein Quadrat zu einem Rechteck umzuformen. Einleitend fragt die Lehrkraft nach den Gemeinsamkeiten von Rechteck und Raute.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
460 461 462	19:35	Paula	es wär die sind ä h h b e i d e mit dem . Quadrat . verwandt\ *.. (Julia meldet sich; Tom führt ein geflüstertes, unverständliches Gespräch mit Sarah)*
463 464 465	19:42	L	sehr gut\ . warum sind die beiden mit dem Quadrat verwandt/ *(4 Sek.) (Julia zieht ihre Meldung zurück; Alisa meldet sich)* Alisa/
466 467	19:49	Alisa	ja weil die . dem Quadrat die gleichen *(unv.)* am meisten ähneln/
468 469	19:54	L	*(hält eine Hand hinters Ohr)* weil die dem Quadrat\ wiederhols nochmal-
470	19:57	Alisa	am meisten ähneln\
471 472 473	19:58	L	okay\ . sehr gut\ wie wie meinstn das/ *... (Alisa und Paula melden sich) (flüsternd und zu Alisa schauend)* ja\ sags ruhig\
474	20:04	Alisa	ähm . weil sie sich am ähnlichsten sind\ *(unv.)*

Die Lehrkraft verlangt mit diesem Vergleich eine Transferleistung. Die Herausforderung, die dieser Transfer an die Schüler:innen stellt, zeigt sich in der zögernden, überlegenden Antwort

der sonst recht souveränen Paula. Sie nennt als übergeordnete Gemeinsamkeit die Verwandtschaft der beiden Vierecke mit dem Quadrat: „die sind ä h h b e i d e mit dem . Quadrat. verwandt\“ <460>. Diese Antwort ist korrekt und beinhaltet alle anderen möglichen Antworten, die einzelne Eigenschaften in den Blick nehmen würden. Der Begriff Verwandtschaft wurde im Radiobeitrag eingeführt und an verschiedenen Stellen als Veranschaulichung der Beziehungen im Haus der Vierecke verwendet (MV, Z. 107, 146 und 193). Hier konnten die sprachlichen Mittel des auditiven Mediums also als Scaffolding (Gibbons, 2002) dienen. Weiter begründet Paula die Verwandtschaft allerdings nicht, weshalb an dieser Stelle keine weiteren Annahmen über die Tiefe ihres Begriffsverständnisses getroffen werden können.

Die Lehrkraft bestätigt sie, fragt aber berechtigterweise nach ebendieser Begründung <463-464>, woraufhin Alisa sich meldet und erklärt: „ja weil die . dem Quadrat die gleichen % am meisten ähneln/“ <466-467>. Es wird deutlich, dass sie ihrer Vorrednerin Paula folgen kann und zustimmt. Auch sie sieht die Verwandtschaft und erklärt sie mit der optischen Ähnlichkeit der beiden Vierecke. Ihre Antwort ist frei formuliert und beruht weder auf Äußerungen des Radiobeitrages noch auf Äußerungen der vorherigen Unterrichtsgespräche, was für ein eigenes Verständnis spricht. Allerdings hat sie entweder sprachliche Schwierigkeiten, dieses Verständnis zu äußern oder kann das allgemeine Phänomen der Ähnlichkeit nicht auf die einzelnen Eigenschaften beziehen. Außerdem könnte für sie auch unklar sein, was die Lehrkraft hören möchte, da die Frage relativ unspezifisch gestellt ist. Eine Antwort auf <463-464> könnte auch lauten: ‚Weil die im gleichen Haus wohnen‘ oder ‚Weil beide Vierecke sind bzw. vier Ecken haben‘.

Es kann allerdings angenommen werden, dass sie die Logik hinter der Hierarchie im Haus der Vierecke verstanden hat, da sie in ihrer Aussage Abstufungen zwischen den verschiedenen Vierecken auf den verschiedenen Etagen macht. Rechteck und Raute sind dem Quadrat laut ihrer Äußerung ähnlicher als die übrigen drei Vierecke in der unteren Etage <466-467>. Sie hat also erkannt, dass es Vierecke gibt, die mehr Gemeinsamkeiten miteinander aufweisen als andere und deshalb näher beieinander wohnen. In diesem Sinne weist ihre Antwort eine höhere inhaltliche Qualität auf als die von Paula – auch wenn die Begründung aufgrund der spezifischen Eigenschaften noch fehlt. Mit dem unterschiedlichen Grad von Ähnlichkeit spricht sie die unterschiedlichen Beziehungen der Vierecke untereinander an. Dies deutet auf den Aufbau eines – wenn auch noch nicht vollständig oder vollständig kommunizierten – integrierten Begriffsverständnisses hin (Vollrath, 1984, Weigand, 2015). Auf Nachfrage der Lehrkraft <471> kann sie ihre Aussage nicht weiter begründen, sondern wiederholt nur „ähm .

weil sie sich am ähnlichsten sind\“ <474>. Sie kann die Beziehungen also erkennen, jedoch noch nicht genauer benennen oder begründen. Dies ist weiterhin ein Zeichen für den Beginn des Aufbaues eine Begriffsnetzes. Der Begriffsinhalt scheint verinnerlicht zu sein, muss jedoch noch konkreter mit den Relationen in Verbindung gebracht und diese versprachlicht werden. Dies ist genau das Ziel dieser Unterrichtssequenz. Das integrierte Begriffsverständnis soll aufgebaut werden, muss also an dieser Stelle noch nicht final erreicht sein. Somit sind sowohl Paulas als auch Alisas Äußerungen ein Zeichen für das erfolgreiche Anbahnen des geplanten Lernzieles.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
475	20:08	L	genau\ sehr gut\ . *(Paula meldet sich)* ähm Paula/
476 477 478	20:10	Paula	man kann die auch beide so n bisschen ähm äh schieben . und dann hat man kann man denen auch zum Quadrat . machen sozusagen\ *(Julia meldet sich)*
479 480 481 482 483 484	20:19	L	ja- . wo muss mans schieben/ .. *(Julia zieht ihre Meldung zurück)* wo müsste man *(Tom meldet sich)* das Para das **Rechteck** schieben damits ne gra Quadrat oder wo müsste man die **Raute** schieben\ ihr habt eben schonmal . hattet ihr schonmal genannt\ . *(Paula, Tom, Alisa und Julia melden sich)* Paula\ .
485	20:31	Paula	m die Raute müsste man . soll ich kurz . zeigen/
486	20:36	L	*(flüsternd)* zeigs mal\ . *(Paula steht auf)*
487 488	20:37	Paula	äh . da *(deutet auf die linke Ecke der Raute)* son bisschen ziehn\ . damit dass dann grade wird da\ *(Tom meldet sich)*
489	20:42	Julia	und an der andern Seite schieben\ .
490 491	20:44	Paula	*(zeigt an der Raute das Ziehen und Schieben; Tom meldet sich weiterhin) (flüsternd)* also . so\

Paula meldet sich wieder zu Wort und beginnt die Ähnlichkeit durch die einfach durchführbare Transformation der beiden Vierecke zum Quadrat zu beschreiben <476-478>. Sie beschreibt dabei ohne Gesten und deiktische Mittel eine mentale Verschiebung als Vorstellungshandlung, die eine mentale Manipulation bzw. gedankliches Bearbeiten der Vierecke darstellt (Weber, 2007). Damit ist sie schon einen Schritt weiter als bei ihrer Äußerung über die Verwandtschaft in <460>. Ihre mentalen Veränderungsprozesse zu versprachlichen fällt ihr jedoch noch schwer, weshalb sie in <485> vorschlägt, diese an den Abbildungen der Vierecke im Haus der Vierecke zu zeigen. Die Lehrkraft gewährt ihr die Zuhilfenahme visueller Unterstützung und Paula zeigt auf die Ecke, an der sie die Raute „son bisschen ziehn\“ würde „damit das dann grade wird da\“ <487-488>. Zwar beschreibt sie nicht, in welche Richtung sie die angezeigte Ecke ziehen würde, jedoch wird durch das „grade“ <488> deutlich, dass sie einen rechten Winkel erzeugen möchte. Somit vollzieht sie also mental eine Verschiebung nach links (Abb. 54; links). Die Winkelveränderung zu versprachlichen scheint ihr also noch schwer zu fallen. Dies übersteigt

allerdings auch den aktuellen Lern- und Wissensstand der Lerngruppe, weshalb ihr Versuch einer Versprachlichung sowie die dahinterstehende Vorstellungshandlung trotzdem eine beachtliche Leistung darstellen. Julia steigt in Paulas Erklärungen ein und ergänzt, dass man „an der andern Seite schieben\ müsste“ <489>, was Paula wiederum direkt anzeigt <490-491>. Dies zeigt, dass Julia Paulas Versprachlichung ihrer Vorstellungshandlung sowohl folgen als auch diese weiterführen konnte (Abb. 54; rechts).

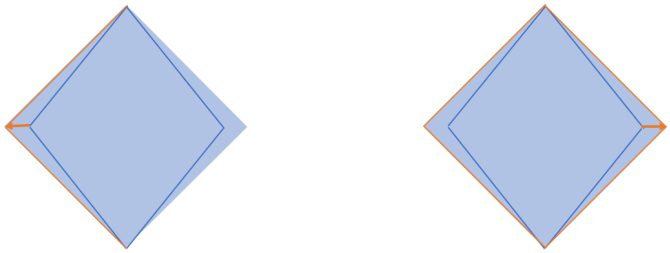


Abbildung 54: Vorstellungshandlungen von Paula (links) und Julia (rechts)

Durch die beiden Einzelschritte (die linke Ecke horizontal nach links weg „ziehn“ <488>, die rechte Ecke horizontal nach rechts raus „schieben“ <489>) wird die länglich wirkende Raute quasi solange entzerrt, bis vier rechte Winkel entstehen, „damit das dann grade wird da\“ <488>. An dieser Stelle lässt sich also ein schönes Beispiel für eine Vorstellungsübung (Weber, 2007) oder kopfgeometrische Aufgabe (Senftleben, 1996) identifizieren. Die Aufgabe wird mit einem Hilfsmittel in Phase 1 (der Abbildung am Plakat) dargestellt und von den beiden Schülerinnen zuerst als reine kopfgeometrische Aufgabe gelöst, bevor sie dann – um sprachliche Schwierigkeiten zu überwinden – die Abbildung bei der Ergebnisdarstellung als Hilfsmittel in Phase 3 nutzen. Auf diese Weise kann die gesamte Lerngruppe dem Prozess der mentalen Manipulation folgen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
492 493	20:46	L	*(Paula läuft zurück zu ihrem Platz)* ja- . und beim **Recht**eck kannst du auch zeigen/
494 495	20:50	Paula	*(flüsternd und an ihrem Platz stehend)* weiß nicht\ *(setzt sich hin) (Tom meldet sich)*
496	20:51	L	Tom\
497 498 499	20:52	Tom	mhm beim Rechteck mussten wir **so** ziehn\ . *(zeigt eine nicht erkennbare Handbewegung)* nicht an den **Ecken** sondern an den **Seiten**\
500 501 502 503	20:57	L	*(schmunzelnd)* ja- . *(normale Stimme)* **zeigs** mal vorne\ . *(zeigt auf das Haus der Vierecke; Tom steht auf und läuft zum Plakat)* zeigs mal der Klasse\ . mit deiner Karte die du auch hast\ *(leises Gelächter)*
504 505	21:05	Tom	*(läuft mit der Karte zurück zum Plakat)* also hier muss man **so** ziehn *(zeigt das Auseinanderziehen der kürzeren Seiten)*

Die Lehrkraft bestätigt die Ausführungen der beiden Schülerinnen und greift ihre Herangehensweise der Transformation zum Quadrat durch mentale Veränderungsprozesse auf, in der sie für sich eine Begründung der Verwandtschaft gefunden haben. Sie stellt dazu die Frage: „und beim Rechteck kannst du auch zeigen/“ <492-493> und meint damit wie sich im Verlauf der Interaktion bestätigt, ob Paula auch die Veränderungsprozesse zeigen kann, die ein Rechteck zu einem Quadrat machen würden. Paula antwortet „weiß nicht\“ <494> und setzt sich wieder hin. Es kann angenommen werden, dass sie hier entweder die Frage der Lehrkraft nicht verstanden, da diese recht unpräzise formuliert ist und ihr nicht klar sein könnte, was genau sie beim Rechteck zeigen soll (die Ecke, die Veränderung oder etwas ganz anderes?) – oder aber, dass sie einfach mehr Zeit gebraucht hätte, um sich den Veränderungsprozess mental vorzustellen. Für diese Annahme spricht die Tatsache, dass sie im weiteren Verlauf der Interaktion den Ausführungen ihres Mitschülers nicht nur folgen, sondern ihn auch korrigieren kann.

Tom springt ein, meldet sich, wird drangenommen und erklärt, dass man beim Rechteck nicht wie bei der Raute rechts und links an den Ecken ziehen muss, „sondern an den Seiten\“ <487-499>. Dabei macht er eine für die Kamera nicht sichtbare Handbewegung, die – wie sich im Laufe der Interaktion herausstellt – vermutlich das Auseinanderziehen der kurzen Seiten des Rechtecks darstellt. Da es hier Unstimmigkeiten zwischen dem Gesagten, Gezeigten und Gefragten gibt, bittet die Lehrkraft Tom nach vorne zu kommen und seine Vorstellungshandlung für alle sichtbar zu präsentieren. Das Schmunzeln der Lehrkraft kann als Zeichen gedeutet werden, dass sie das Missverständnis schon erkannt hat, aber auch schon sieht, dass Tom nicht falsch liegt, und deshalb diese Situation als Lernerfahrung für alle Kinder der Lerngruppe nutzen möchte. Tom kommt mit einer rechteckigen Spielkarte, die er die ganze Zeit in der Hand hatte, nach vorne und zeigt, an welchen Seiten man „so ziehn“ <497> muss. Die Bewegung ist dabei leider von Paula verdeckt.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
506 507	21:07	L	also so nach innen drücken oder ziehn\# *(zeigt das Nach-Innen-Drücken mit seinen Händen)*
508 509 510	21:09	Tom	#ja\ . also beim Quadrat\ also wenn des jetzt hier en Quadrat wär . *(Sarah meldet sich)* müsste man so ziehn dass es ein Rechteck wär\#
511	21:15	L	#ja\#
512	21:16	Paula	#du meinst schieben\ ..
513	21:18	L	äh ja <schieben\ also ja
514	21:19	Tom	<oder auseinanderziehn\
515	21:20	L	er meint das Richtige\#

Entweder hat Tom tatsächlich ein Zusammendrücken des Rechtecks von den kurzen Seiten aus gezeigt oder die Lehrkraft hat seine Gestik nicht richtig sehen oder interpretieren können. Sie deutet mit ihren Händen das Zusammendrücken des Rechtecks an und sagt dabei: „also so nach innen drücken oder ziehn\“ <506-507>. Dieser Ausdruck kann als sprachliches Korrektiv von Paulas Äußerung gesehen werden. Paula spricht von „ziehn“ <506> was in den Augen der Lehrkraft falsch ist, da sie vom Rechteck ausgeht und dieses quasi zum Quadrat zusammenstaucht. Das Missverständnis löst sich auf als Tom sie unterbricht und aufklärt <508-510>, dass er vom Quadrat ausgeht und dieses zu einem Rechteck auseinanderzieht (Abb. 55). Ursprung dieses Missverständnisses ist die rechteckige Spielkarte, die Tom in seinen Händen hält. In seiner Vorstellung ist die Spielkarte das Endergebnis des mentalen Transformationsprozesses, zu dessen Beginn die Karte ein Quadrat war („also wenn des jetzt hier en Quadrat wär“ <508-509>), welches durch Auseinanderziehen der Seiten so verändert wird, „dass es ein Rechteck wär\“ <509-510>.

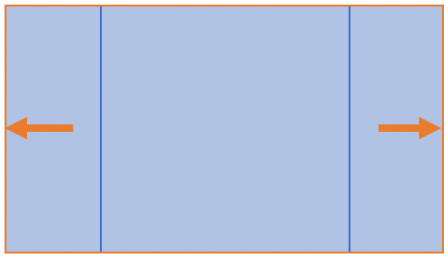


Abbildung 55: Toms mentaler Transformationsprozesses vom Quadrat zum Rechteck

Paula meldet sich zu Wort und korrigiert Tom („du meinst schieben\“ <512>), was die Lehrkraft bestätigt <513>. Wie die Lehrkraft geht also auch Paula von dem Rechteck aus, dass zum Quadrat verändert wird. An dieser Stelle zeigt sich, wie schon angedeutet, dass Paula Toms Beschreibung seiner Vorstellungshandlung sowohl folgen als auch diese korrigieren kann. Sie vollzieht außerdem in ihrer Vorstellung den korrekten Veränderungsprozess zur Ausgangsfrage, wo und wie man das Rechteck verändern bzw. „schieben“ <512> müsste, um ein Quadrat zu erhalten <479-483>. Um die Ähnlichkeit oder Verwandtschaft von Quadrat und Rechteck zu beschreiben, ist es allerdings unwichtig, in welche Richtung der Veränderungsprozess vorgenommen wird, weshalb Tom nicht wirklich falsch liegt. Aus diesem Grund betont er mit dem Einwurf „oder auseinanderziehn\“ <514> abermals, dass man auch (von seinem Ausgangspunkt Quadrat) die Seiten auseinanderziehen kann, um ein Rechteck zu erhalten. Die Lehrkraft scheint nun verstanden zu haben, wie Tom vorgeht und wo das

Missverständnis liegt. Sie beschwichtigt deshalb, dass Tom das Richtige meint, kommt aber nicht dazu dies für alle zu erklären, da sie von Paula unterbrochen wird.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
515	21:20	L	er meint das Richtige\#
516	21:20	Paula	#oder man kann auch an den langen Seiten#
517	21:22	L	#genau\#
518	21:22	Paula	#oben ziehn weil dann *(unv.)*#
519 520	21:24	Tom	#is eigentlich das Gleiche man muss halt einfach nur am . an den gegenüberliegenden Ecken ziehen\ <Seiten\
521 522 523	21:29	L	<Seiten\ *(leise)* okay\ sehr gut\ . *(Tom geht zurück zu seinem Platz) (normale Lautstärke)* wir gucken jetzt nochmal wer an wer unten wohnt\ .

Paula wirft ein, dass man auch an den langen Seiten oben ziehen kann <516-518>. Sie lässt sich also auf Toms Begriff „auseinanderziehn“ <514> ein und übernimmt seine Herangehensweise für ihren Ausgangspunkt des Rechtecks (Abb. 56). Damit hat sie für die mentale Rekonstruktion des Rechtecks zum Quadrat eine zweite Möglichkeit gefunden: man kann das Rechteck entweder an den kurzen Seiten nach innen drücken oder ziehn oder an den langen Seiten auseinanderziehn, sodass ein Quadrat entsteht. Dabei wird die Grundfläche entweder verkleinert oder vergrößert.

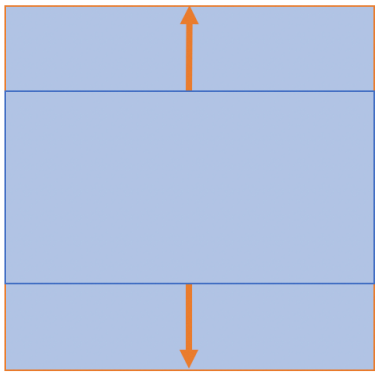


Abbildung 56: Paulas mentaler Transformationsprozesses vom Rechteck zum Quadrat

Auch Tom lässt sich auf Paulas Einwurf ein und findet eine zweite Möglichkeit für seinen Ausgangspunkt des Quadrates: man kann das Quadrat entweder nach rechts und links oder nach oben und unten ziehen, sodass sich die Grundfläche zu einem Rechteck vergrößert und hält fest: „is eigentlich das Gleiche man muss halt einfach nur am . an den gegenüberliegenden Ecken ziehen\“ <519-520>. Gleichzeitig mit der Lehrkraft korrigiert er sich selbst, dass an den gegenüberliegenden Seiten gezogen werden muss. Außerdem zeigt Tom einen beeindruckenden Gebrauch der Fachsprache. Der Begriff der „gegenüberliegenden Seiten“

<520> wurde im Radiobeitrag eingeführt (MV, Z.157) und vereinfacht hier die Kommunikation über die Elemente, die bewegt werden müssen. Auch die Fachbegriffe Quadrat und Rechteck <508-510> sowie Ecke und Kante nutzt er korrekt, reflektiert die eigenen Äußerungen und korrigiert sich gegebenenfalls selbst <520>.

In dieser Aussage zeigt sich jedoch, dass Tom noch nicht verstanden hat, dass er und Paula unterschiedliche mentale Prozesse vornehmen, denn für Paulas Ausgangspunkt des Rechtecks sind nicht beide Vorgehensweisen „das Gleiche" <519>. In Bezug auf das Quadrat hat er recht: es ist egal welche gegenüberliegenden Seiten man auseinanderzieht. In Bezug auf das Rechteck hat Paula recht: an den kurzen Seiten schieben oder an den langen Seiten ziehen. Die beiden Kinder reden hier also aneinander vorbei, kommen aber beide innerhalb ihrer Perspektive zu den richtigen Ergebnissen. Trotz – oder genau wegen – der Missverständnisse wurden die beiden durch die vermeintlich falschen Antworten und die Unnachgiebigkeit ihres Gesprächspartners dazu herausgefordert, ihre Vorstellungshandlungen verständlicher zu beschreiben und zu verteidigen. Während dieses Prozesses sind beide zu einer zweiten Lösung gekommen, was sich als produktives Ergebnis dieser Diskussion festhalten lässt.

Schlussfolgerungen

Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle: Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die analysierte Interaktion eine hohe Dichte an Vorstellungshandlungen sowie ihren Versprachlichungen und ihrer Diskussion aufweist. Die Lernenden zeigen dabei besondere Leistungen bezüglich zweier Teilkomponenten räumlichen Vorstellungsvermögens: Räumliche Beziehungen (spatial relations) und Veranschaulichung (visualization) (Franke, 2007). Es ist besonders spannend, dass ausgehend von der durch den Radiobeitrag eingeführten Verwandtschaft der Vierecke versucht wird, diese Verwandtschaft über optische Ähnlichkeit und dem auseinander Hervorgehenlassen zu erklären. Dieser globale Blick auf die Vierecke scheint den Kindern noch leichter zu fallen als das Betrachten und Vergleichen einzelner Merkmale. Außerdem passt das auseinander Hervorgehenlassen als ein auseinander Entstehen zum Begriff Verwandtschaft (denn auch hier entsteht ein Kind aus seinen Eltern und ist ihnen deshalb ähnlich). Durch die mentalen Veränderungsprozesse an den Vierecken (Weber, 2007) findet dadurch eine Hinführung zu operationalen bzw. genetischen Definitionen statt, bei denen eine Figur durch Angabe ihres Entstehens definiert wird (Franke, 2007, S.103f.).

Fachbezogene Sprachbildung: Für das auseinander Hervorgehenlassen der Vierecke (in diesem Fall dem Verändern von Raute und Rechteck zum Quadrat) ist das Erkennen der Beziehungen zwischen den Eigenschaften einer Figur und den Eigenschaften verwandter Figuren notwendig. Die hier stattfindenden Prozesse sind als ein Zeichen für das Erreichen der nullten Niveaustufe ‚abstrahierend-relationales Denken' (van Hiele, 1964) zu werten. Der Begriffsinhalt der verschiedenen Begriffe ist bekannt und kann genutzt werden, um die Begriffe begründet in einem Begriffsnetz zu verorten und diese Verortung zu begründen oder zu analysieren (Vollrath, 1984). Das Begriffsnetz und das integrierte Begriffsverständnis sind durch diese Tätigkeiten im Aufbau (Weigand, 2015).

Das Sprechen über die eigenen Vorstellungshandlungen ist eine produktive Herausforderung, die den präzisen Gebrauch von bildungs-und fachsprachlichen Elementen notwendig macht. Bei der Versprachlichung ihrer mentale Veränderungsprozesse benutzen die Schüler:innen Fachbegriffe wie *Ecke, Kante* oder *lange, kurze* und *gegenüberliegende Seiten*. Durch das Nachfragen anderer, durch neue Erklärungsversuche und auch durch die Missverständnisse wird den Kindern bewusst, dass präzise Formulierungen bedeutsam für die Verständigung eigener Gedanken sind. Wo sie an ihre Grenzen kommen, erlaubt die Lehrkraft im Sinne sprachsensiblen Mathematikunterrichts die Zuhilfenahme von visueller Unterstützung in Form von Gestik oder dem Zeigen an Abbildungen (Kap. 4.4). Durch diese Zuhilfenahme werden die Vorstellungshandlungen zu Kopfgeometrischen Aufgaben mit Hilfestellung in Phase 1 und 3 (Senftleben, 1996). An diesen Grenzen werden die Herausforderungen an die Sprachproduktion sichtbar. Die Begriffe scheinen größtenteils verstanden und integriert. Bei der Beschreibung mentaler Manipulationen müssen jedoch sehr viele Begriffe gleichzeitig abgerufen und korrekt verwendet werden, weshalb eine rein verbale Erklärung für die meisten Kinder nicht möglich ist. Da die hier sichtbar gewordenen Vorstellungshandlungen an sich schon beachtliche Leistungen sind, ist das Vorschlagen der Lehrkraft von Zuhilfenahme visueller Unterstützungen im Sinne Senftlebens, 1996) mehr als sinnvoll.

Ziel der Arbeit mit dem Haus der Vierecke ist der Aufbau eines integrierten Begriffsverständnisses (Vollrath, 1984) bzw. dem Erreichen der zweiten Niveaustufe des Begriffsverständnisses *abstrahierend-relationales Denken* nach van Hiele (1964). Diesem Ziel kommen die Schüler:innen recht nahe, da sie die Vierecke nicht nur anhand ihrer Eigenschaften und der Beziehungen zueinander richtig verortet haben, sondern die Beziehungen auch nutzen, um Vierecke so zu verändern, dass eine andere Figur mit anderen Eigenschaften entsteht. Sie zeigen dabei, dass sie die dafür notwendigen Erkenntnisse der Beziehungen zwischen den

Eigenschaften einer Figur und den Eigenschaften verwandter Figuren erlangt haben und auch die Logik der Begriffshierarchie im Haus der Vierecke verstanden haben.

Analyse 11: Begriffshierarchie

Nach dem Gespräch über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem Rechteck und dem Quadrat, wurden auch die restlichen Vierecke in das Haus eingeordnet und besprochen. Zum Zeitpunkt, an dem das Transkript einsetzt, hängen also die Plakate aller Vierecke korrekt eingeordnet im Haus der Vierecke (Abb. 57).

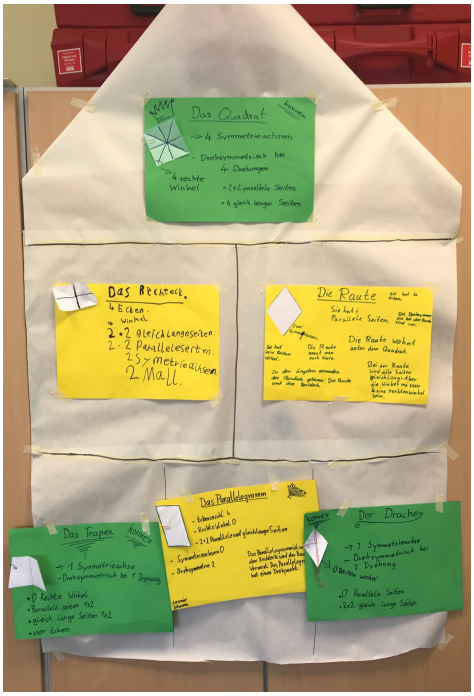


Abbildung 57: Vollständiges Haus der Vierecke

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
715 716 717 718 719	27:54	L	mal auf die Eigenschaften\ . geht mal von oben- guckt euch nochmal die Eigenschaften an- guckt mal von oben nach unten\ . oder von unten nach oben\ . was passiert mit den Eigenschaften/ mit den **Merk**malen\ *(12 Sek.) (Julia, Alisa und Paula melden sich)* Julia\
720 721	28:24	Julia	des Quadrat hat am meisten und wenns runter geht wirds immer weniger\
722	28:29	L	wow\ super\
723 724 725 726 727 728	28:30	Paula	des wird immer . mhm . also ich bin jetzt von unten nach oben gegangen- . eins äh . soweit wir jetzt beim Drache- eins plus eins . ist ja jetzt bei den Symmetrieachsen\ eins plus eins ist ja zwei und die Raute hat dann . zwei Symmetrieachsen und . zwei plus zwei ist ja **vier** . und das Quadrat hat **vier Symmetrieachsen**\

Nachdem alle Vierecke in das Haus eingeordnet wurden und der Fokus dabei jeweils auf dem gerade zu besprechenden Viereck lag, weitet die Lehrkraft den Blick jetzt auf alle Vierecke, um ihre Eigenschaften zu vergleichen <715-718>. Dabei gibt sie den Hinweis, auf Veränderungen „von oben nach unten\ . oder von unten nach oben\" <716-717> zu achten, und fragt dabei ganz spezifisch: „was passiert mit den Eigenschaften/ mit den Merkmalen\" <717-718>, wobei sie die Begriffe synonym verwendet. Im Beitrag kam nur der Begriff „Merkmale" (MV, Z. 145) vor. Im Unterricht hingegen wurde sowohl von Eigenschaften als auch von Merkmalen gesprochen. Nach einer Pause von 12 Sekunden wird Julia drangenommen. Diese lange Pause ist sinnvoll und wichtig. Zum einen, damit die Schüler:innen genug Zeit haben, um das Haus der Vierecke ausgiebig auf die Eigenschaften hin zu betrachten; und zum anderen damit sie die Versprachlichung ihrer Beobachtungen vorbereiten können.

Julia antwortet auf die Frage, was mit den Eigenschaften passiert: „des Quadrat hat am meisten und wenns runter geht wirds immer weniger\" <720-721>. Mit dem Ausdruck „am meisten" <720> meint sie also vermutlich die Merkmale oder Eigenschaften. Sie erkennt, dass das Quadrat die meisten Merkmale hat und dass die Anzahl der Merkmale abnimmt, je weiter unten ein Viereck platziert wurde. Damit hat sie nicht nur die Frage der Lehrkraft und den Auftrag zum Untersuchen korrekt verstanden, sondern auch beeindruckend gut beantwortet. Julia geht im Sinne einer top-down-Analyse von oben nach unten vor. Auf den angehängten Plakaten sind auch die Anzahlen der Merkmale vermerkt, sodass es möglich ist, Zusammenhänge festzustellen. So steht auf dem obersten Plakat (das Quadrat) beispielsweise sehr häufig die Zahl vier und auf den Plakaten der zweiten Stufe (Rechteck und Raute) sehr oft die Zahl zwei. Auf den Plakaten der untersten Stufe kommen die Zahlen eins und null vor. Julia scheint diese Zusammenhänge zu bemerken und ohne Probleme (keine Zeichen von Unsicherheit oder Zögern) vergleichend beschreiben zu können. Sie nimmt einen globalen Blick auf die Eigenschaften aller Vierecke ein und beweist damit ihr inhaltliches Begriffsverständnis (Franke, 2007). Auch sprachlich hat sie die vergleichende Perspektive „am meisten" <720> eloquent ausgedrückt und sogar die stufenhafte Abnahme der Merkmale („wirds immer weniger" <720-721>) gut erkannt und beschrieben. Des weiteren lässt sich festhalten, dass der Arbeitsauftrag eine herausfordernde Transferleistung darstellt. Bisher wurden nur die einzelnen Vierecke betrachtet und nicht in ihrer hierarchischen Darstellung miteinander verglichen. Auch gab es hierzu bisher noch keine Informationen im Radiobeitrag. Umso beeindruckender ist die Tatsache, dass Julia diese herausfordernde Aufgabe so sicher und gut löst. Sie ist also in der Lage aufbauend auf den bisher erarbeiteten Informationen eine Transferleistung zu erbringen, was auch die Lehrkraft zu beeindrucken scheint <722>.

Ohne erkennbare Aufforderung fängt auch Paula an zu beschreiben, was ihr aufgefallen ist <723-728> und geht damit wieder auf die ursprüngliche Frage der Lehrkraft ein <715-718>. Sie leitet ihre Beobachtungen mit einer Beschreibung ihrer Herangehensweise ein und erklärt somit selbstständig, dass sie – im Gegensatz zu ihrer Vorrednerin Julia – im Sinne einer bottom-up-Analyse von unten nach oben vorgegangen ist und sich deshalb sowohl ihre Analyserichtung als auch ihre Erkenntnisse von denen Julias unterscheiden. In ihrer Argumentation geht sie den „Verwandtschaft-Pfad" im Haus vom Drachen über die Raute hoch zum Quadrat und beschreibt die Veränderung in der Anzahl der Symmetrieachsen korrekt (Drachen: eine; Raute: zwei; Quadrat; vier). Gleichzeitig versucht sie ein Muster zu erkennen und die Anzahlen der einzelnen Merkmale durch Addition herzuleiten. Der Satzanfang „des wird immer" <723> lässt vermuten, dass sie zuerst davon ausgeht, dass in jedem Stockwerk die gleiche Anzahl an Symmetrieachse hinzukommt. Anhand des folgenden Beispiels (der „Verwandtschaft-Pfad" vom Drachen zur Raute) beginnt sie ihre Vermutung zu beschreiben: Der (symmetrische) Drache hat eine Symmetrieachse, fügt man dem noch eine hinzu („eins plus eins ist ja zwei" <725-726>), kommt man auf die zwei Symmetrieachsen der Raute („und die Raute hat dann . zwei Symmetrieachsen" <726-727>). An dieser Stelle wird ihre Beobachtung konkreter und das Muster „Verdopplung" wird deutlich, denn von der Raute zum Quadrat stellt sie eine Zunahme von gleich zwei weiteren Symmetrieachsen fest „zwei plus zwei ist ja vier" <727>. Möglich ist jedoch auch, dass sie von Anfang an die Verdopplung erkannt hat und nur nicht sprachlich ausdrücken konnte („des wird immer" <723>). Gestärkt wird diese Annahme durch die Tatsache, dass sie weder stockt noch sich korrigiert als sie bei der Beschreibung ihrer Beobachtung bzw. ihrer Herleitung über die Addition von „eins plus eins" <725> (auch eine Verdopplung) zu „zwei plus zwei" <727> übergeht. Die Feststellung der Verdopplung in der Anzahl der Symmetrieachsen von Stockwerk zu Stockwerk ist eine bemerkenswerte Leistung, die jedoch nicht zwingend auf alle Eigenschaften verallgemeinerbar ist und so unter Umständen zu zukünftigen Fehleinschätzungen führen kann. Die Anzahl der rechten Winkel beispielsweise liegt bei allen Vierecken auf der untersten Ebene bei null und kann somit nicht verdoppelt werden. Auch das Parallelogramm fällt aus dem von Paula beschriebenen Muster heraus.

Hervorzuheben bleibt dennoch, dass Paula es schafft, einen allgemeinen Zusammenhang über die Analyse einzelner Elemente (am Beispiel der Symmetrieachsen) zu beschreiben. Dies ist eine sinnvolle Strategie, wenn eine Analyse, die alle Elemente in den Blick nimmt, zu herausfordernd scheint. Außerdem nutzt sie fachsprachliche Elemente (Drache, Raute, Quadrat, Symmetrieachse) in einer herausfordernden Transferaufgabe sicher und korrekt, auch wenn ihre Argumentationsstruktur sprachlich noch ausbaufähig ist. Die Situation kann damit im Sinne des

MRA-Models mit der Stufe *Integration* beschrieben werden (Meany et al., 2012, S. 209). Durch den Auftrag, die Vierecke auf ihre Eigenschaften hin zu untersuchen und die Beobachtungen zu beschreiben, werden die Kinder herausgefordert, die gelernten Begriffe in einem neuen Aufgabenkontext zu benutzen und sie so weiter in ihren Fachwortschatz zu integrieren. Es wird deutlich, dass die gelernten Begriffe schon gut integriert und vernetzt sind, jedoch noch nicht komplett flüssig gebraucht werden können, weshalb die Stufe *Output* (Meany et al., 2012, S. 213) noch nicht erreicht wird. Dies ist nach solch einer kurzen Lernumgebung (vier Unterrichtsstunden) allerdings auch nicht zu erwarten. Im Sinne Frankes (2007, S. 112) kann man beiden Schülerinnen ein inhaltliches Begriffsverständnis zusprechen. Sie können die Figuren benennen, auf den Plakaten erkennen, wissen um ihre Eigenschaften und können diese beschreiben und als Argumentationsgrundlage nutzen. Durch den Vergleich der Vierecke bzw. ihrer Eigenschaften wird außerdem in Ansätzen ein integriertes Begriffsverständnis sichtbar (Vollrath, 1984). Die einzelnen Vierecke werden als Teil eines Begriffsnetzes (das Haus als Begriffshierarchie) erkannt und ihre Beziehungen untereinander analysiert – wenn auch noch nicht vollständig.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass alle wichtigen und für die Argumentation notwendigen Begriffe und Fakten auf den Plakaten einsehbar sind, jedoch war dies im Sinne des Scaffolding (Gibbons, 2002) genauso geplant (Kap. 5.2.7). Die erstellten Steckbrief-Plakate sollten als gemeinsame Wortspeicher (Götze, 2015) dienen, welche allen Kindern die Beteiligung an der anschließenden Diskussion und Transferaufgabe ermöglichen sollen.

z	min:sek	Sprecher:in	Äußerungen
729 730	28:51	L	das ist ge*(unv.)*- . das Quadrat hat . am **meisten Symmetrieachsen**\
731	28:54	Paula	und das ist ähm#
732 733 734	28:55	L	#wie sieht das auf der Ebene darun . untendrunter aus im ersten Stock wie viel Symmetrieachsen ham die beiden/ . Vierecke/ *(4 Sek.)* das Rechteck und die Raute/ *(7 Sek.)*
735	29:12	Paula	die ham auch beide zwei\
736 737	29:13	L	zwei\ genau\ . und und ganz unten/ .. *(Tom meldet sich)* Tom/
738	29:18	Tom	ham alle nur ein\
739	29:19	L	ham alle nur eins/
740	29:21	Tom	außer das Parallelogramm\ *(undeutlich)* das hat null#

Die Lehrkraft bestätigt und konkretisiert Paulas Erklärungen <729-730>. Ihr Konkretisieren scheint dabei eine Zusammenführung von sowohl Julias als auch Paulas Äußerungen zu sein. Julia sagt in <720> „des Quadrat hat am meisten“ während Paula in <727-728> sagt „das Quadrat hat vier Symmetrieachsen\“. Die abschließende Zusammenfassung der Lehrkraft

beinhaltet also Teile beider Äußerungen, bestätigt also beide und führt sie zu einem vollständigen Ergebnis bzw. einer vollständigen Definition zusammen: „das Quadrat hat . am meisten Symmetrieachsen\“ <729-730>. Auf diese Weise werden die Erkenntnisse beider Schülerinnen anerkannt. Da Julia aber auf die Eingangsfrage der Lehrkraft <715-718> vermutlich von allen Eigenschaften gesprochen hat, ist der Blick jetzt wieder verengt auf eine beispielhafte Eigenschaft (die Symmetrieachsen). Dies kann wie schon erwähnt hilfreich sein, um das Phänomen bzw. Muster an einem Beispiel zu erkennen und dann auch für die anderen Eigenschaften zu überprüfen. In der weiteren Interaktion vertieft die Lehrkraft das Muster im Vorkommen der Merkmale, damit es als Wissensbasis für alle Kinder gesichert ist. Dabei soll ausgehend von <729-730> und dem obersten Stockwerk, wo das Quadrat mit den meisten Symmetrieachsen verortet wurde, die Anzahl der Symmetrieachsen auf den darunter liegenden Stockwerken bestimmt und die Reduktion der Merkmale festgehalten werden. In einer top-down-Analyse, wie sie Julia in <720-721> angeregt hat, wird also als nächstes nach dem Rechteck und der Raute auf der Ebene unter dem Quadrat, dem „ersten Stock“ <732-734> gefragt. Paula antwortet korrekt, dass beide Vierecke zwei Symmetrieachsen haben <735>, was die Lehrkraft wiederholt und bestätigt <736>. Auf die letzte Frage nach dem Stockwerk „ganz unten“ <736> antwortet Tom zuerst, dass hier alle Vierecke nur eine Symmetrieachse haben <738>. Auf nachfragendes Wiederholen der Lehrkraft <739> korrigiert er sich selbst überraschend schnell und korrekt: „außer das Parallelogramm\ (undeutlich) das hat null“ <740>. Diese Korrektur stellt ein Durchbrechen der Verallgemeinerung dar, die von Paula in <723-728> ggf. impliziert wurde. Es wird also als allgemeines Muster festgehalten, dass sich die Anzahl der Merkmale von oben nach unten reduziert, jedoch nicht immer gleichmäßig für alle Vierecke. Auf diese Weise sollen den oben erwähnten möglichen zukünftigen Fehleinschätzungen entgegengewirkt werden.

Schlussfolgerungen

Fachbezogene Bildungssprache: In Bezug auf den Begriffserwerb lässt sich festhalten, dass die Lehrkraft in dieser Sequenz die Begriffe vertieft, indem sie die Begriffsbezeichnung vorgibt (Namen der Vierecke) und den Begriffsinhalt bzw. einen Teil davon (Anzahl der Symmetrieachsen) für verschiedene Vierecke abfragt. Damit erinnert sie die Schüler:innen an das, was sie bereits wissen. Außerdem ermöglicht sie durch ihre Nachfragen, dass sich die Lernenden tiefergehend mit den Begriffen und Eigenschaften auseinandersetzen. Dies sind Strategien, die im Hinblick auf den Erwerbsprozesse mathematischer Begriffe den Stufen

‚integration' und ‚output' des MRA-Models zuzuordnen sind (Meany et al., 2012, S. 209, 213). Die Äußerungen der Schüler:innen zeigen, dass sie sich durch die von der Lehrkraft gelenkten Analyse und Beschreibung der Hierarchie im Haus der Vierecke aktiv und aus unterschiedlichen Perspektiven (top-down vs. bottom-up) mit der Begriffshierarchie und den Unterschieden und Veränderungen innerhalb dieser Hierarchie auseinandersetzen. Sie geben dabei nicht nur überwiegend korrekte Beiträge ab, sondern zeigen auch Begriffsverständnis auf unterschiedlichen Stufen sowie eine beeindruckende Transferleistung, da in dieser Unterrichtssequenz Zusammenhänge erarbeitet werden, die weder im Radiobeitrag genannt wurden, noch in der bisherigen Erarbeitung der Steckbriefe zu den einzelnen Vierecken thematisiert worden sind.

Hörverstehen: Diese Transferaufgaben, die auf Grundlage des Wissens, welches durch die auditiven Medien vermittelt worden ist, bearbeitet werden sollen, können als indirekte Höraufträge bezeichnet werden. Sie vertiefen und sichern die auditiv vermittelten und durch direkte Höraufträge selektiert herausgearbeiteten Informationen. Das Wissen aus den Audiosequenzen sowie aus den Präsentationen und Unterrichtsgesprächen wird zusammengeführt und vernetzt. Auf diese Weise zeigt sich gefestigtes Hörverstehen zum auditiv vermittelten Inhalt.

9. Resümee

Ziele dieser Studie waren die Untersuchung der schülerbezogenen Konzeption auditiver Medien sowie der Potenziale zum Aufbau fachbezogener Bildungssprache und zur Entwicklung mathematisch-konzeptuellen Wissens. Dazu sollten in einem theoretischen, einem deskriptiven und einem rekonstruktiven Analyseschritt drei Forschungsfragen beantwortet werden:

F1: Was sind Gelingensbedingungen für den fachdidaktischen Einsatz auditiver Medien im sprachsensiblen Mathematikunterricht?

F1.1 Welche Kriterien können für schülergerechte auditive Medien identifiziert werden?

F1.2 Wie kann ein gewinnbringender fachdidaktischer Einsatz aussehen?

F2: Welche Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden?

F3: Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisch-konzeptuelles und fachsprachliches Lernen unterstützen?

Aus diesen Forschungsfragen heraus entstanden drei Ergebnisblöcke:

E1: Medien- und fachdidaktische **Kriterien** an schülergerechte auditive Medien

E2: Methodisch-didaktische Hinweise für einen gewinnbringenden fachdidaktischen **Einsatz** von auditiven Medien

E3: **Potenziale** auditiver Medien aus mathematikdidaktischer Perspektive

Die ersten beiden Ergebnisblöcke wurden auf Basis der Literatur (Kap 2) beantwortet und sollen in der Zusammenfassung und Reflexion der Ergebnisse mit den empirischen Erkenntnissen ergänzt werden. Der dritte Ergebnisblock fasst die deskriptive Erfassung des Lernens mit auditiven Medien und die dabei induktiv entwickelten Kategorien bzw. Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens durch die Arbeit mit auditiven Medien zusammen sowie aufbauend darauf die Potenziale, die in den anschließenden Detailanalysen rekonstruiert werden konnten. Der Mehrwert dieses zweischrittigen Analyseverfahrens sowie weitere forschungsmethodische Erkenntnisse sollen im nachfolgenden Kapitel ausführlich erörtert werden, bevor die Ergebnisse der empirischen Studie in den eben genannten Ergebnisblöcken strukturiert zusammengefasst und reflektiert werden (Kap. 9.2 und 9.3). Abschließend werden in einem Ausblick mögliche Anschlussfragen diskutiert sowie die weitere Arbeit innerhalb des Projektes dargestellt (Kap. 9.4).

9.1 Forschungsmethodische Erkenntnisse

Im gesamten Prozess des Projektes waren Forschung und Entwicklung eng miteinander verwoben. Zum einen muss Entwicklung immer in enger Zusammenarbeit mit wissenschaftlicher Begleitung geschehen und zum anderen ist es im Sinne der Evaluationsforschung Aufgabe der wissenschaftlichen Begleitung, die Wirksamkeit der entwickelten Maßnahme aufzuzeigen. Wie in Kapitel 6 ausführlich beschrieben, wurde in der vorliegenden Arbeit deshalb die systematische Anwendung empirischer Forschungsmethoden auf eine spezielle Fragestellung zur Bewertung des Konzeptes und der Implementierung sowie zur Exploration der Wirksamkeit des Einsatzes auditiver Medien im Mathematikunterricht verfolgt (Bortz & Döring, 2006, S. 96). Im Hinblick auf das Beantworten der Forschungsfragen und die Theoriegenese hat sich die Methodenkombination zur Datenanalyse (Kap. 6.2.1) als sehr sinnvoll und zielführend erwiesen. Dabei wurden die Offenheit der Forschung und die Gegenstandsangemessenheit von Methoden und Theorien als ein Leitgedanke hypothesengenerierender Forschung (Flick, 2016) beachtet. Die Methoden waren deshalb nicht von Beginn an vorgegeben, sondern wurden im Zuge einer ersten Exploration gegenstandsangemessen gewählt und im Forschungsprozess sowohl offen gestaltet als auch angepasst. Beispielsweise war die qualitative Inhaltsanalyse nicht von Beginn an geplant, sondern wurde nach ersten Erhebungen den Interaktionsanalysen vorangestellt, um die große Menge an Datenmaterial zu strukturieren und das Forschungsfeld durch die gefundenen Aspekte im Sinne eines „Inventars“ (Bortz & Döring, 2006, S. 381) zu erschließen. Außerdem wurden verschiedene Perspektiven (fachdidaktische, fachwissenschaftliche und linguistische) bei der Vorbereitung und Auswertung der Studie berücksichtigt (Kap. 5; Kap. 8.1). Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Evaluationsforschung (Bortz & Döring, 2006) wurden drei Ziele ausgemacht, die den Aufbau der Studie, die Forschungsfragen und die Methodik bestimmen sollten.

1. Die Entwicklung einer theoretischen Grundlage für den fachdidaktischen Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht – bestehend aus wissenschaftlichen Theorien zur Beschreibung und Erklärung von Sachverhalten im Sinne der Grundlagenforschung.
2. Die Entwicklung konkreter Handlungsstrategien für die Praxis im Sinne des Erkenntnisinteresses von Interventionsforschung.
3. Die Exploration der Wirksamkeit auditiver Medien im Mathematikunterricht im Sinne von Wirksamkeitsforschung.

Das erste Ziel wurde durch den theoretischen Teil dieser Arbeit verfolgt, indem theoretische Grundlagen aus Kognitionspsychologie, Linguistik und Fachdidaktik erörtert wurden (Kap. 1-3). Die Handlungsstrategien konnten durch Erkenntnisse aus Medienpädagogik und Hördidaktik, ergänzt mit Erfahrungen aus der vorliegenden Studie, entwickelt werden (Kap. 2, Kap. 4). Für die empirische Untersuchung der Wirksamkeit wurde die empirisch-qualitative Exploration durch die eingangs erwähnte Methodenkombination zur Datenanalyse durchgeführt. Da sich zu Beginn der Auseinandersetzung mit einem bislang wenig erforschten Thema oft die Frage stellt, „welche Aspekte, Facetten oder Komponenten überhaupt von Bedeutung sind“ (Bortz & Döring, 2006, S. 381), wurde dabei eine offene Forschungshaltung eingenommen. Durch den deskriptiven Analyseschritt war es möglich, den komplexen Untersuchungsgegenstand theoretisch zu fassen und die Fülle des Materials möglichst unvoreingenommen zu ordnen (Bortz & Döring, 2006, S. 381). Beispielsweise wurde im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse beim induktiven Bilden von Kategorien und Hauptkategorien die HK3 ungeplant und über die eigentliche Forschungsfrage hinausgehend mit in das Kategoriensystem aufgenommen und in den Daten codiert. Dies stellte einen großen Gewinn für die Studie dar, da sich insbesondere die Kategorie K12 (Hörverstehen in Bezug auf das auditive Medium) als eine bedeutende Komponente herausstellte. Gleichzeitig ist dieses Vorgehen ein beispielhafter Beleg für das Einhalten der Kriterien bzgl. der Gültigkeit der Untersuchung (Kap. 6.4.3), da hier nicht nur die „Begründung von Erkenntnissen im empirischen Material“ (Flick, 2016, S. 28) stattfindet, sondern sogar die Methodik an erste Erkenntnisse im empirischen Material angepasst wurde.

Für die inhaltliche Beschreibung und Begründung von Zusammenhängen und Wirksamkeiten zur Theoriebildung sind deskriptive Methoden und quantitative Auswertungsschritte jedoch oft nicht ausreichend – es braucht auf sorgfältigen Methoden aufbauende Beschreibungen (Bortz & Döring, 2006, S. 383). An dieser Stelle ist empirisch-qualitative Exploration nicht routinisierbar, sondern muss auf das Untersuchungsfeld abgestimmt werden. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit im Sinne der qualitativen mathematikdidaktischen Unterrichtsforschung für einen zweiten Analyseschritt das rekonstruktive und interpretative Verfahren der Interaktionsanalyse genutzt (Krummheuer & Naujok, 1999). Auf diese Weise konnte dazu beigetragen werden, wissenschaftliche Erkenntnisse über die Eigenschaften und Wirkungen des Einsatzes auditiver Medien im Mathematikunterricht zu sammeln sowie Optimierungsvorschläge für die Produktion der Medien und Handlungsstrategien zu formulieren (Bortz & Döring, 2006, S. 97). Nach Hermann (1979) wurden also sowohl wissenschaftliche als auch technologische Theorien entwickelt:

wissenschaftliche Theorien beschreiben und erklären Sachverhalte, während technologische Theorien konkrete Handlungsanweisungen zur praktischen Umsetzung dieser wissenschaftlichen Theorien geben.

Ein weiterer Aspekt, der sich als sehr zielführend für die Theoriegenese herausgestellt hat, liegt in der Komparation zweier kontrastreicher Einzelfälle (Krummheuer & Brandt, 2001, S. 83), die durch das Purposive Sampling ausgewählt wurden (Kap. 6.2.3). An ihnen ließen sich die Unterschiede und Ähnlichkeiten der auditiven Medien einfach bestimmen und beschreiben sowie daraus Konsequenzen für den Einsatz im Unterricht ableiten. Die im Rahmen der Komparation iterativ entwickelten Variationsdimensionen halfen bereits bei der Auswahl der kontrastreichen Einzelfälle und stellen in ihrer finalisierten Form einen Teil der Ergebnisse dieser Arbeit dar (E1). Als weitere Variante für unabhängige Variablen kann die Wirkung einer Maßnahme neben dem Vergleich mehrerer Maßnahmen (hier Radiosendungen) auch über die mehrfache Anwendung einer Maßnahme abgeschätzt werden (Bortz & Döring, 2006). Dies wurde durch die mehrfache Anwendung in unterschiedlichen Klassenstufen vollzogen (Kap. 6.2.3). Durch die Komparation im Hinblick auf auditives Medium und Klassenstufe konnten auf diese Weise Einflüsse von – der komplexen sozialen Forschungssituation geschuldeten – Verzerrungen verhindert und gleichzeitig das gegenseitige Validieren von Teilinformationen ermöglicht werden (Bortz & Döring, 2006).

In Bezug auf die Untersuchungsgruppe und das Setting lässt sich anmerken, dass sowohl die Bedingungen der Evaluationsforschung im Allgemeinen als auch die Fokussierung auf alltägliche Unterrichtsprozesse als ein Charakteristikum Interpretativer Unterrichtsforschung (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 15) vielen Einflüssen des Forschungsfeldes unterliegen. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass Felduntersuchungen eine höhere externe Validität, aber geringere interne Validität besitzen, was im Sinne der gewünschten Exploration in Kauf genommen werden muss und durch die spezifischen Gütekriterien (Kap. 6.4) aufgefangen wurde. Trotzdem sollten keine stark vereinfachten Laborbedingungen aufgestellt werden, um die Wirksamkeit unter realen Bedingungen zu testen und die Studie somit im Sinne anwendungsorientierter Forschung nachhaltig als Planungs- und Entscheidungshilfe in der Praxis nutzbar machen zu können (Bortz & Döring, 2006). Die Ergebnisse dieser Arbeit sind also wie bereits diskutiert als „lokale Theoriegenese“ zu verstehen „und die Produkte sind kontextbezogene Theorien“ (Krummheuer & Naujok, 1999, S. 22).

Insgesamt konnte die als empirisch-qualitative Exploration angelegte Studie dazu beitragen, „bislang vernachlässigte Phänomene, Wirkungszusammenhänge, Verläufe etc. erkennbar zu machen“ (Bortz & Döring, 2006, S. 380). Weiterhin wurde die Studie als

formative (projektbegleitende) Evaluation geplant und durchgeführt, bei der nicht der Output, sondern Veränderungsprozesse von Interesse sind, die sich durch die Intervention ergeben sowie die Generierung von Hypothesen zur Vermittlung von handlungsrelevantem Wissen (Bortz & Döring, 2006, S. 109f.). Dieses Ziel wurde erreicht: Es konnte sowohl handlungsrelevantes Wissen ermittelt werden (E1 und E2) sowie Veränderungsprozesse in Form von Potenzialen, die sich durch den Einsatz auditiver Medien ergeben, rekonstruiert und beschrieben werden (E3). Diese Ergebnisse sollen im folgenden Kapitel ausführlich zusammengefasst und reflektiert werden.

9.2 Zusammenfassung und Reflexion der Ergebnisse

Auditive Medien bringen einige Besonderheiten mit sich, welche die Arbeit mit ihnen zu einem interessanten und untersuchungswürdigen Forschungsfeld machen (Kap. 2). Grundlegend stellt der Einsatz auditiver Medien einen Methodenwechsel dar, der für viele Schüler:innen zunächst fremd ist, jedoch genau deswegen – und aufgrund der Verknüpfung mit der Alltags- und Freizeitwelt – zu einem Anstieg an Motivation und Konzentration führen kann (Pleimfeldner & Bernius, 2013). Durch die Darstellungsisolierung findet im Gegensatz zur Synchronität von Darstellungsebenen (Walter, 2018) die Reduktion auf nur eine – die auditive – Darstellungsebene statt. Durch diese produktive Herausforderung kann eine Verlagerung kognitiver Beanspruchung in die gewünschte Richtung (Rink & Walter, 2020) stattfinden, durch die mentale Ressourcen für reichhaltige mathematische Aktivitäten genutzt werden können. Bei der Rezeption auditiver Medien wird weitehin zielgereichtetes Zuhören notwendig (Imhof, 2010).

Da ihre Rezeption allein auf Sprachverarbeitung beruht, bezeichnen Ritterfeld und Langenhorst (2011) auditive Medien als sprachlastige Medien (Ritterfeld & Langenhorst, 2011). Durch diese Sprachlastigkeit lassen sie sich im Sinne der Kontextoptimierung für den Modalitätenwechsel von rezeptiven, reflexiven und produktiven Modalitäten nutzen (Motsch, 2017). Die Rezeption stellt dabei eine unbewusste Sprachaneignung dar, die durch den Wechsel der Modalitäten sowie durch Elaborationsstrategien sprachbewusst getaltet werden kann. Die Kontexte der Radiosendungen können dabei auch als (kommunikativ sinnvolle) „zwingende Kontexte“ dienen (Motsch, 2017, S.125). Durch die Einordnung in das Modell sprachlicher Nähe und Distanz (Koch & Oesterreicher, 1985) konnte gezeigt werden, wie auditive Lernmaterialien, die für den unterrichtlichen Gebrauch konzipiert wurden, von der Mündlichkeit in die Schriftlichkeit führen und somit für den Schriftlichkeitserwerb (Feilke,

2016) genutzt werden können. Nicht zu unterschätzen dabei ist der „offensichtliche starke Modellcharakter“ von Radiosendungen und Hörspielen (Schwenke, 2018, S. 314).

Dabei ist jedoch auch der flüchtige Charakter von auditiv vermittelter Information zu beachten. Diesem kann durch technische Möglichkeiten entgegengewirkt werden, durch welche akustische Emission kompilierbar und dezentral verfügbar gemacht wird (Jörg, 2000). Auditve Medien haben somit „die Eigenschaft, dass man sie immer wieder in der gleichen Qualität nutzen kann“ (Pleimfeldner & Bernius, 2013, S.32). Sie sind damit beliebig oft wiederholbar und dezentral in verschiedenen Arbeitsphasen einsetzbar. Hierzu bedarf es individueller Anpassung an die Lerngruppe sowie ggf. der selbstständigen Bedienung durch die Lernenden (Pleimfeldner & Bernius, 2013). Weiterhin können auditive Medien Expertenwissen vermitteln und authentische Expert:innen in das Lernsetting einbinden, wodurch diese zum „Co-Teacher“ (Pleimfeldner & Bernius, 2013, S.33) werden. Die Lehrkraft kann damit die wissensvermittelnde Rolle abgeben und sich auf das Anleiten und Moderieren der Erarbeitung fokussieren. Dazu muss beispielweise „Involvement“ (Mattstedt/Apel, 2012, S. 376) angeregt werden – d.h. eine intensive Verarbeitungstiefe als Ausmaß der Auseinandersetzung mit der Bedeutung des auditiv dargestellten Sachverhaltes. Diese Verarbeitungstiefe bedeutet eine stärkere Beanspruchung von Aufmerksamkeitskapazität und Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses.

Aufgrund der besonderen Eigenschaften auditiver Medien bedarf es also zum einen methodisch-versierten Lehrens unter besonderer Beachtung der Gelingensbedingungen dieser Medien. Dabei ist die Rolle der Lehrkraft und ihrem Ermessen bei Analyse, Auswahl und didaktisch sinnvollem Einsatz von großer Bedeutung. Zum anderen können aber auch besondere Potenziale beobachtet werden. Um dieses methodisch-versierte Lehren zu ermöglichen bzw. zu unterstützen, wurden als Forschungsdesiderate dieser Studie zum einen Bedingungen an auditive Medien und Bedingungen für gewinnbringenden Einsatz dieser festgelegt, die durch den ersten Teil der Arbeit beantwortet und durch den empirischen Teil bestätigt wurden (E1 und E2). Alle diese Kriterien und Hinweise dienen dem Erleichtern der auditiven Informationsvermittlung und dem Hörverstehen. Zum anderen wurden in der empirischen Studie die Potenziale untersucht, die durch den Einsatz auditiver Medien und ihrer eingangs beschriebenen Besonderheiten nutzbar gemacht werden können (E3).

9.2.1 Medien- und fachdidaktische Kriterien an schülergerechte auditive Medien (E1)

Zur Beantwortung der Frage nach Gelingensbedingungen für den Einsatz auditiver Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe wurden zuerst Kriterien für die Auswahl und Analyse schülergerechter auditiver Medien aufgestellt. Dazu wurde die fachliche, die sprachliche und mediendidaktische Ebene in den Blick genommen. Es wurde festgehalten, dass die fachliche Qualität neben der (mathematischen) Korrektheit der Sachverhalte und der Fachsprache vor allem auch die Reduktion des Inhaltes mit Blick auf die Zielgruppe verlangt, da Verdichtungen und Verkünstlichung von Information sowie reine Faktenvermittlung das Hörverstehen erschweren (Wachtel, 2013, S. 13f.). Mayer (2009) formuliert dies folgendermaßen:

> If the material lacks a coherent structure – if it is, say a collection of isolated facts – the learner's model-building efforts will be fruitless. If the message lacks guidance for how to structure the presented material, the learner's model-building efforts may be overwhelmed. (S. 69)

Es braucht also einen klaren Textverlauf, der nicht zwischen mehreren Aspekten hin und her springt (Wachtel, 2013) sowie passende Beispiele und/oder Aufgaben. Auf sprachlicher Ebene darf der fachliche Inhalt nicht schreibdenkend vorbereitet werden, wenn er hörverstehend zu verarbeiten ist (Geißner, 1988, S. 174). Im Gegenteil muss er in seiner Struktur, fachlichen Aufbereitung und Komplexität auf die Mündlichkeit hin ausgerichtet sein und dem Hörverstehen dienen (Gutenberg, 2000). Dazu müssen sowohl Inhalt und Form als auch Grammatik und Stil angepasst werden. Aus diesem Grund wurde das Konzept Schreiben fürs Hören (Gutenberg, 2000; Wachtel, 2013) vorgestellt, welches aufgrund von sprechwissenschaftlichen und wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen konkrete Empfehlungen für das Texten auditiv vermittelter Inhalte gibt. Beispielsweise braucht es einfache und kurze Sätze, lineare Darbietung der Informationen, Redundanzen, Zusammenfassungen, das Rhema am Satzende etc. Aufbauend auf diesen Konzepten konnten die Merkmale, die das Hörverstehen erleichtern bzw. erschweren bestimmt werden (Tab. 2).

Auf gestalterischer Ebene konnte festgehalten werden, dass durch verschiedene Faktoren wie akustische Veränderung auditive Aufmerksamkeit und Konzentration angeregt werden kann. Beispielsweise können Soundeffekte wichtige Begriffe oder Phrasen markieren und das Auftreten eines Experten signalisieren, dass nun eine relevante Information folgt. Allgemein erleichtert eine abwechslungsreiche Gestaltung (Stimmen, Zäsuren, Ebenen) die auditive Informationsverarbeitung. Aus diesem Grund bietet sich besonders das Format *Feature* für den unterrichtlichen Gebrauch an, da dieses Format sich durch die notwendige abwechslungsreiche Gestaltung auszeichnet. Ein Feature kann weiterhin um die Komponente des Storytelling ausgebaut werden, mit der Informationen in bzw. durch eine Rahmenerzählung

vermittelt werden und die Konzentration auf die Fakten und Inhalte erleichtert wird (Ordolff/Wachtel, 2014, S. 79). Außerdem ermöglichen Rahmengeschichten die Identifizierung mit Protagonist:innen (Lampert & Wespe, 2012), was wiederum die Aufmerksamkeit steuern kann.

Zusammenfassend sollen die Ergebnisse in einer Komparation der Variationsdimensionen dargestellt werden. Die Variationsdimensionen wurden aus den Erkenntnissen der theoretischen Ausführungen zu den Gelingensbedingungen (Kap 2) sowie den fachdidaktischen Analysen (Kap 4) rudimentär erstellt und dienten im Purposive Sampling (Kap 5) schon der Auswahl der beiden hier untersuchten Radiosendungen. Durch die Erkenntnisse der Detailanalysen konnten die Variationsdimensionen bestätigt und präzisiert werden (Tab. 7).

In der komparativen Darstellung wird deutlich, dass die beiden Radiosendungen die verschiedenen Variationen auf unterschiedliche Weise abbilden bzw. erfüllen. Auf der mathematikdidaktischen Ebene gibt es Unterschiede in der Reduktion, Problemorientierung, dem Anleiten von Vorstellungsübungen und Transferaufgaben. Beispielsweise liefert die Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* durch ihre Problemorientierung Anlass für eigene Untersuchungen und kognitive Aktionen, während die Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* zwar keine Problemorientierung enthält, jedoch durch das Untersuchen eines Quadrates durch Falten Anleitung für Vorstellungsübungen gibt. Hier lassen sich also andere Herangehensweisen ausmachen, die sicherlich teilweise abhängig vom Inhalt sind, aber deren Vorhandensein oder nicht Vorhandensein trotzdem bedacht und ggf. aufgefangen oder ergänzt werden kann bzw. muss.

Auf der sprachlichen Ebene finden wir vor allem Unterschiede im Gebrauch der Register, des Sprachstils und dem (Hör-)Textverständnis. Der narrative Sprachstil in der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?*, welche die problemhaltige Situation authentisch präsentiert, führt zu Merkmalen, die das (Hör-)Textverständnis erleichtern (Leisen & Seyfarth, 2006; Leisen, 2013; Wachtel, 2013). Im Gegensatz dazu führt der dozierende Sprachstil der Sendung *Wer wohnt im Haus der Vierecke?* zu Merkmalen, die das (Hör-)Textverständnis erschweren. Dies muss beim Einsatz im Unterricht beachtet sowie sprachliche Schwierigkeiten durch Methoden sprachsensiblen Mathematikunterrichts (Kap. 4.4.4) aufgefangen werden.

Tab. 7 Komparation der Variationsdimensionen

Variationsdimension / Radiosendung		Wann ist ein Spiel fair?	Wer wohnt im Haus der Vierecke?
Mathematikdidaktische Ebene	Inhaltsfeld	Daten und Zufall	Raum und Form
	Didaktische Reduktion	passend für die Zielgruppe	teilweise passend für die Zielgruppe
	Alltagsbeispiele/ bekannter Kontext	ja	ja
	Problemorientierung (Anlass für eigene Untersuchungen, kognitive Aktivierung)	ja	nein
	Anleitung für Vorstellungsübungen	nein	ja
	Anregung zu Transferaufgaben	ja	nein
	Fachbegriffe	Referenz auf abstrakte Begriffe	Referenz auf Objekte / „gegenständliche“ Repräsentanten
Sprachliche Ebene	Register	viel Alltagssprache mit integrierter Bildungssprache, narrativer Sprachstil	hauptsächlich Bildungssprache, referierender Sprachstil
	Vertrautheit der Begriffe	hoch (z.B. fair)	niedrig (z.B. parallel)
	Sprachstil	narrativ	dozierend
	(Hör-)Textverständnis	einfach, übersichtlich, angemessene Informationsdichte, anschaulich	komplex, unübersichtlich, hoch verdichtet, anschaulich
Mediendidaktische Ebene	Abwechslungsreiche Gestaltung (Feature)	ja	ja
	Storytelling	ja	nein
	Personifizierung	ja	nein
	Expert:innen	Kinder & Lehrkraft	Kinder & Universitätsprofessor
	Effekte	Sound-Effekte markieren wichtige Begriffe	verschiedene Klänge für Körper & Flächen

Auf mediendidaktischer Ebene zeichnen sich die Unterschiede besonders durch das Storytelling aus, durch welches in der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* die eben angesprochene Problemorientierung verstärkt wird. Die Rahmengeschichte liefert eine authentische problemhaltige Situation und Personifizierung durch die interagierenden Protagonist:innen. Die Äußerungen der kindlichen Protagonist:innen stellen „Inseln der Verständlichkeit im Meer der Abstraktion" (Lampert & Wespe, 2012, S. 27) dar und ermöglichen Identifikation, durch welche die Lernwirksamkeit gesteigert werden kann. Dass dies auch bei der hier untersuchten Radiosendung der Fall ist, zeigt sich in Interaktionssequenzen, in denen deutlich wird, wie aufmerksam die Schüler:innen die Geschichte und die Problematik verfolgen. Beispielsweise folgt auf die allgemeine Äußerung der Lehrkraft, dass die Kinder in der Radiosendung sich gefragt haben, ob das Spiel fair sei, eine Korrektur von Andrej: „Eigentlich nur der Nils" (TF_1Z_4K_1S, Z. 230; eine ähnliche Situation findet sich in TF_1Z_4K_1S, Z. 152-154). Diese Korrektur zeigt, dass die Schüler:innen sich tief in einem bedeutungsvollen Hörerlebnis befinden, in dem sie sich auch die kleinsten Details merken und ihnen die Richtigstellung von Falschinformationen wichtig ist. Durch die Personifizierung wurde also detailliertes Zuhören angeregt. Dies bestätigt die Theorie, dass Informationen „in personifizierter Form besser und unmittelbarer nachzuempfinden [sind] als abstrakte Faktenaufzählung" (Lampert & Wespe, 2012, S. 38). Aus diesem Grund kann die Empfehlung ausgesprochen werden, solche auditiven Medien für den unterrichtlichen Einsatz zu wählen (oder zu produzieren), die über eine Rahmengeschichte verfügen und Aspekte des Storytelling beinhalten. Innerhalb dieser Rahmengeschichte kann dann die passende Herangehensweise an die jeweilige Thematik gewählt werden (Vorstellungsübungen, Transferaufgaben etc.). Ebenso können problemorientierte Sendungen einen authentischen und ergiebigen Einstieg in eine Thematik ermöglichen sowie Anlass für eigene Untersuchungen und kognitive Aktionen geben. Ist dies nicht durch den Beitrag gegeben, bleibt es Aufgabe der Lehrkraft, durch Hörafträge, selbst aufgestellte Probleme und/oder weiterführende Aufgaben die aktive Verarbeitung des Gehörten anzuregen.

Wichtig ist also die sorgfältige Analyse und Auswahl auditiver Medien, die auf allen beschriebenen Ebenen qualitativ hochwertig gestaltet sind, und die durch die hier dargelegten Faktoren Wege zur Aufmerksamkeitssteuerung und Fokussierung auf die verbale Wissensvermittlung ermöglichen. Auf diese Weise kann die Informationsverarbeitung und das Hörverstehen gesichert sowie darauf aufbauend fachliches und sprachliches Lernen angeregt werden.

9.2.2 Methodisch-didaktische Hinweise für einen gewinnbringenden Einsatz (E2)

In Kapitel 2 wurden deshalb didaktisch-methodische Zugänge (Frederking et al., 2012) sowie konkrete Ansätze einer Zuhördidaktik (Pabst-Weinschenk, 2011; Wermke, 2010) und ein gestuftes Vorgehen für die Unterstützung des Hörverstehens (angelehnt an Leisen, 2013) herausgearbeitet. Diese streben ebenso wie die Kriterien schülergerechter auditiver Medien als oberstes Ziel das Erleichtern und Erreichen von Hörverständnis und aufbauend auf diesem mathematisches und sprachliches Lernen an. Dazu braucht es grundsätzlich die Regulation von Informationsmenge und Zuhöranforderungen, die Aktivierung von Vorwissen sowie konkreten Zuhöraufgaben.

Ein durch die Lehrkraft analysierter und ausgewählter auditiver Beitrag muss für den unterrichtlichen Einsatz je nach Inhalt, Länge und Informationsdichte vorstrukturiert und sinnvoll eingebettet werden. Dabei gehört zur Vorbereitung der Arbeit mit einem auditiven Medium das Beachten des Segmenting Principle (Mayer & Pilegard, 2014), d.h. das Abspielen kürzerer Segmente von 1-2 Minuten. Auf diese Weise können die Rezipient:innen im Sinne der Inputspezifizierung (Niebuhr-Siebert & Ritterfeld, 2012) gezielt mit wiederholten und spezifisch förderlichen Sprachdaten versorgt werden. Zwischen den einzelnen Segmenten sollten Pausen für das aktive Verarbeiten des Gehörten eingeplant werden. In diesen Pausen sollte zunächst eine Verständnissicherung stattfinden. Dazu können beispielsweise wichtige Begriffe aus dem Beitrag herausgefiltert und ein gemeinsamer Wortspeicher erarbeitet werden. Im Anschluss an die Sicherung sprachlichen Verständnisses müssen Aktivitäten geplant werden, die nicht nur das Zuhören und die Aufmerksamkeitssteuerung verbessern, (Imhof, 2001), sondern auch der Rekonstruktion des Gehörten dienen (Maier & Schweiger, 1999; Pabst-Weinschenk, 2011) und die Verarbeitung der Informationen anregen (Imhof, 2003). Dies geschieht, indem das Gehörte in Beziehungen zum bisherigen Wissen gesetzt und bewertet wird, sodass Schlussfolgerungen kontrolliert oder gezogen und somit eigenes Wissen konstruiert werden können (Schnotz, 2005). Dies führt auch zur Verbesserung der Verstehens- und Behaltensprozesse (Imhof, 2001). Dazu wurden kognitive Strategien sowie reduktive und elaborative Techniken vorgestellt (Padberg-Schmidt, 2020), die in Anlehnung an Berg et al. (2018) in dieser Arbeit als Hörtexterschließungshilfen bzw. im unterrichtlichen Kontext als Höraufträge bezeichnet wurden. Höraufträge dienen neben der Unterstützung selektiven und detaillierten Hörverstehens (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994) auch der selbstständigen Dokumentation eigener Ergebnisse, um der Flüchtigkeit auditiver Darstellungen entgegenzuwirken (Leuders, 2012, S. 216). Die hier vorgestellten Höraufträge sind größtenteils den Bereichen Rekonstruktion und Visualisierung des Gehörten sowie dem Bereich der

Transferaufgaben zur Überprüfung nachhaltigen Lernens zuzuordnen (Maier & Schweiger, 1999). Dabei wurden in dieser Arbeit weiterhin die Begriffe direkte und indirekte Höraufträge eingeführt, um zu beschreiben, wie eng ein Hörauftrag am Text ausgerichtet ist. Bei dem direkten Hörauftrag der Rekonstruktion des Gehörten wird beispielsweise meist sehr eng am Text gearbeitet. Für die Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* beispielsweise dienten (Hör-) Texterschließungshilfen – wie „gemeinsam mit Material arbeiten" oder „aus Beispielen anderer lernen" (Berg et al., 2018) – dem Verständnis des von den Protagonist:innen der Sendung durchgeführten Zufallsexperimentes und seiner Untersuchung. Die Transferaufgaben (alternative Zufallsexperimente) am Ende der Einheit, die angeregt durch den Vorschlag des Protagonisten Laurenz (MF, Z. 214-230) durchgeführt wurden, stellen dementsprechend indirekte Höraufträge dar. Sie können mit dem mathematischen Wissen und den sprachlichen Argumentationsstrukturen, die durch den Beitrag vermittelt wurden, bearbeitet werden und bieten auf diese Weise Einsicht in die Tiefe des Hörverstehens.

Bezüglich der direkten Arbeit am Hörtext zu dessen Rekonstruktion wurden weiterhin focused und scaffolded self-explanation prompts (Wylie & Chi, 2014, S. 422) als geeignete Differenzierungs- und Unterstützungsmöglichkeiten identifiziert, durch die langfristiges deklaratives Wissen generiert werden kann (Wylie & Chi, 2014, S. 415). Im Einklang mit Leisen (2013) können durch focussed prompts spezifische Informationen aus dem Hörtext entnommen und so selektives und detailliertes Hörverstehen (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994) unterstützt werden. Dies konnte durch die Interaktionsanalyse der Partnerarbeit von Lena und Yael zum Erstellen des Steckbriefes für das Parallellogramm bestätigt werden (Analyse 07). Das Bearbeiten der Tabelle mit den möglichen und günstigen Würfelkombinationen hingegen (Analyse 03) geht auf die Texterschließungshilfe „Graphische Bearbeitungshilfen und Tabellen nutzen" (Berg et al., 2018) zurück und stellt einen scaffolded prompt dar, in dem die Rekonstruktion des Gehörten strukturell unterstützt wurde. Außerdem wird durch das (durch die self-explanation prompts eingeforderte) Wiedergeben von Schlüsselwörtern und -phrasen das auditive Medium als sprachliches Vorbild (Götze, 2015) im Sinne des Scaffolding (Gibbons, 2002) genutzt („ja die haben halt irgendwie gesagt wie reingeboxt oder so also" <TV_3Z_6K, Z. 655-656> Analyse 06). Weiterhin dienten sowohl die gemeinsam erarbeiteten Wortspeicher als auch die Dokumentationen in Form von Notizen oder Ergebnissicherungen zum einen der Rekonstruktion des Gehörten und zum anderen als Unterstützung bei der mündlichen Präsentation der Ergebnisse aus der Gruppenarbeitsphase. Somit konnten sie auf zweifache Weise der Entwicklung des lexikalischen Lernpfades dienen.

Weiterhin wurden Höraufträge zur aktiven Konstruktion mentaler Modelle beschrieben, die mit Situationsmodellen arbeiten oder dem Generieren ebendieser dienen. Wermke (2010) betont die Verschränkung von Wahrnehmung und Vorstellung als grundlegenden hördidaktischen Ansatzpunkt und gleichzeitig als Ziel der Arbeit mit auditiven Medien und fordert dazu die Förderung der Imagination. Die Konstruktion mentaler Modelle sollte dabei immer durch konkrete Handlungen oder durch Möglichkeiten zur Visualisierung begleitet werden, um die Kommunikation über die mentalen Modelle zu erleichtern. Dies kann durch scaffolded prompts zur Visualisierung angeregt werden (Peters & Schreiber, 2018). Die entstandenen Visualisierungen können dann sowohl als unterstützendes Gerüst für die Rekonstruktion des Gehörten genutzt werden als auch diagnostische Erkenntnisse über den Verstehensgrad liefern. In der Interaktionsanalyse zur Klärung der Begriffe ‚konvex' und ‚konkav' konnten diese Prozesse anschaulich rekonstruiert und somit bestätigt werden (Analyse 06). Die auditiv vermittelte Definition der beiden neuen Begriffe wurde von den Schüler:innen in ein mentales Bild übersetzt und somit aus dem Gehörten ein Modell konstruiert. Durch die Visualisierung dieser Modelle konnte dann die Rückübersetzung des Bildes in Sprache und somit die Verständigung unterstützt werden. Außerdem dienen die Visualisierungen mentaler Modelle der Lehrkraft zur Verständnisüberprüfung.

Auch die enaktive (Re-)Konstruktion des Gehörten kann als Hörtexterschließungshilfe genutzt werden. Durch das Wechselspiel von Instruktion (auditive Information) und Konstruktion kann die Verknüpfung interner und externer Prozesse angeregt werden (Ballstaedt, 1997). Dies wurde an Beispielen aus den untersuchten Unterrichtseinheiten dargestellt und konnte auch in den Interaktionsanalysen bestätigt werden (Analyse 04).

Zuletzt sollen diesen methodisch-didaktischen Hinweisen noch einige technische und rechtliche Aspekte hinzugefügt werden, um den reibungslosen Einsatz auditiver Medien im Unterricht zu ermöglichen. Grundlegend kann angemerkt werden, dass es wenig technische Vorraussetzungen und somit eine relativ geringe Hürde für den Einsatz auditiver Medien gibt (Pleimfeldner & Bernius, 2013): Es braucht je nach Lernumgebung nur ein oder mehrere Endgeräte sowie einen Lautsprecher für den Einsatz im Plenum oder Kopfhörer für den Einsatz in Phasen der eigenständigen Erarbeitung. Wie schon erwähnt beeinflusst der Grad der Selbstständigkeit das Hörverständnis (Schnotz, 2005). In der Partnerarbeit von Lena und Yael wurde deutlich, wie durch die Möglichkeit der Eigenkontrolle beim Abspielen des auditiven Mediums die beiden Schülerinnen in ihrem individuellen Tempo vorgehen und wichtige Stellen gezielt nachhören konnten (Analyse 07). Auf diese Weise wurde das selektive und detaillierte Hörverstehen (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994) sowie das selbsgesteuerte Lernen

(Pleimfeldner & Bernius, 2013) unterstützt. Als Kompetenzen konnten hier die selbstständige Beachtung individueller Auffassungsgrenzen sowie die individuelle Einteilung des Gehörten in Sinneinheiten identifiziert werden.

Im Sinne sprachsensiblen Mathematikunterrichts sollte auch die Kontrolle über die Wiedergabegeschwindigkeit gegeben sein, um bei Verständnisschwierigkeiten ein entschleunigtes Zuhören zu ermöglichen. Diese Wiedergabegeschwindigkeit kann auf der Online-Plattform des Kinderfunkkollegs über die Option der Wiedergabe im Webbrowser (über den Button „Sendung speichern“) eingestellt werden.

Sollte es in den Räumlichkeiten, in denen die auditiven Medien eingesetzt werden sollen, kein oder Schwierigkeiten mit dem W-LAN geben, ist es ratsam, die Sendung vorher herunterzuladen und über einen Audio-Player abzuspielen. Die meisten Audio-Player verfügen ebenfalls über die Möglichkeit, die Wiedergabegeschwindigkeit anzupassen. Durch die Möglichkeit des Abspielens auf allen mobilen Endgeräten, können die Radiosendungen bzw. auditive Medien allgemein damit auch als Element im ‚Distance Learning‘ oder Flipped Classroom eingesetzt werden.

Aus rechtlicher Sicht lässt sich anmerken, dass die Beiträge des Kinderfunkkollegs für den Gebrauch in der Schule freigegeben sind. Der Hessische Rundfunk verweist dabei auf §47 des Urheberrechtsgesetzes, der die Nutzung und Vervielfältigung auditiver Angebote aus Schulfunksendungen regelt. Dieser besagt, dass Bildungseinrichtungen Sendungen für den Einsatz im Unterricht speichern und vervielfältigen dürfen. Die Audiodaten sind jedoch spätestens am Ende des auf die Ausstrahlung folgenden Schuljahres zu löschen.

9.2.3 Potenziale auditiver Medien aus mathematikdidaktischer Perspektive (E3)

Wie eingangs beschrieben, zeichnen sich auditive Medien durch einige Besonderheiten aus, die sie von anderen Medien und Darstellungsformen unterscheiden. Wenn die Gelingensbedingungen, die in E1 und E2 dargestellt wurden, beachtet werden, stellen diese Besonderheiten Potenziale dar, durch die mathematisches und fachsprachliches Lernen unterstützt werden kann. Diese Potenziale wurden durch die empirische Studie rekonstruiert. Dazu wurden in einem ersten Schritt alle Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens identifiziert, die durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden, um die Forschungsfrage F2 zu beantworten:

> F2: Welche Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens können durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden?

Durch die deskriptive Beschreibung zweier kompletter Unterrichtseinheiten mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) konnte eine induktive Kategorienbildung durchgeführt und ein umfangreiches Kategoriensystem entwickelt werden. Dabei entstanden drei Hauptkategorien, denen alle gefundenen Kategorien subsummiert werden konnten (Anhang A3). Die in Kapitel 7.1 beschrieben Kategorien stellen die in F2 gesuchten Aspekte mathematisch-konzeptuellen und fachsprachlichen Lernens dar, die durch die Arbeit mit auditiven Medien angeregt werden können.
Durch die Komparation der unterschiedlichen Ausprägung aller Kategorien in den beiden untersuchten Einheiten konnten sowohl erste unterrichtspraktische als auch forschungstheoretische Erkenntnisse und Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden für die anschließenden Detailanalysen drei Aspekte der Fokussierung festgelegt, durch die der Einsatz auditiver Medien schwerpunktmäßig aus drei verschiedenen Perspektiven in den Blick genommen werden sollte:

- Hörverstehen
- Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle
- Fachbezogene Bildungssprache

Nachfolgend sollen die Ergebnisse aller durchgeführten Analysen zusammenfassend und geordnet nach den Aspekten der Fokussierung dargestellt werden, um die Forschungsfrage F3 zu beantworten.

F3: Inwiefern können die Potenziale auditiver Medien im Mathematikunterricht mathematisch-konzeptuelles und fachsprachliches Lernen unterstützen?

In Anlehnung an die Kompetenzen beim Zuhören (Bernius, 2004) wurden für das Lernen mit auditiven Lernmaterialien im Mathematikunterricht die Ausbildung von sprachlichen Kompetenzen sowie Kompetenzen im Bereich des Bildens von inneren Bildern und Vorstellungen erwartet. Diese Erwartungen konnten durch die Analysen bestätigt, erweitert und präzisiert werden.

Hörverstehen

Bevor der mathematische Inhalt mit in den Blick genommen werden soll, kann als erstes allgemeines Potenzial die Förderung der **Zuhörkompetenz** genannt werden. Die in Kap. 2.3 vorgestellten Aspekte der Selbstregulation in den verschiedenen Phasen des Zuhörens (Imhof,

2010, S. 20) zeigen, dass Selbstregulation auf drei verschiedenen Ebenen gefordert wird: als kognitive und metakognitive Kompetenz sowie als Regulation des Selbst (Wahl der Ressourcen). In den Interaktionsanalysen konnten Beispiele für alle drei Ebenen rekonstruiert werden.

- *Kognitive Kompetenz:* bei der auditiven Vermittlung neuer Informationen – wie den Definitionen der Begriffe ‚konvex' und ‚konkav' (Analyse 06) – verknüpfen die Schüler:innen diese mit ihrem Vorwissen (andere Vierecke und ihre Eigenschaften), erfassen Bedeutungen und konstruieren Visualisierung.
- *Metakognititve Kompetenz:* An verschiedenen Stellen konnte gezeigt werden, dass die Schüler:innen die auditiven Informationen evaluieren und bewerten, Emotionen beachten sowie Einstellungen und Information trennen. Marcel vergleicht das Gehörte mit den Äußerungen der Lehrkraft, bewertet die von ihr vergessenen Informationen als relevant und empfindet es deshalb als wichtig, diese zu ergänzen (Analyse 01). Tarik bewertet das Gehörte als unzureichend und besteht darauf, dass trotz aller mathematischer Berechnungen noch das Konzept des Glücks beachtet werden muss (Analyse 02).
- *Regulation des Selbst:* In der Analyse der Partnerarbeit von Lena und Yael, die mithilfe einer Audiosequenz selbstständig einen Steckbrief für das Parallelogramm erstellen sollen, wurde rekonstruiert, wie die Schülerinnen eigene Entscheidungen der Selbstregulation vornehmen (Analyse 07). Da sie durch den Hörauftrag mit einer Zuhörabsicht und einem Selektionskriterium an die Audiosequenz herangehen, sind sie in der Lage sowohl Ziel als auch Form und Umfang der Notizen, die sie sich machen, festzulegen sowie den Prozess zu überwachen und ggf. die Quellen zu wechseln oder Situationsmodelle zu ergänzen.

Bei gelingendem Zuhören können dann weitere Kompetenzen entfaltet werden. Hierzu gehören neben den oben genannten Potenzialen, die als Aspekte der Fokussierung dienen, auch die **Medienkompetenz** (Baacke, 1996). Zum einen zählt Imhof (2010) zur Regulation des Selbst auch den Umgang mit dem auditiven Medium. Hier zeigen sich durch die selbstständige technische Bedienung Potenziale im Bereich der Mediennutzung. Zum anderen zeigen sich durch die prüfende, vergleichende und bewertende Rezeption der auditiven Information auch Potenziale im Bereich der Medienkritik.

Weiterhin konnte bezugnehmend auf Neuf-Münkel (1988) und Nebe-Ribaki (1994) in vielen Analysen das Erreichen verschiedener **Stufen des Hörverstehens** rekonstruiert werden wie beispielsweise das selegierende, das detaillierte und das reflektierende Hörverstehen in

Analyse 01. Nach einem Wirkungsgespräch im Sinne Leisens (2013) und der Verständnisüberprüfung (Analyse 04) konnten in tiefergehenden Aufgaben und Gesprächen wichtige Informationen und mathematische Kernaussagen aus der Sequenz des auditiven Mediums herausfiltert werden. In der Unterrichtseinheit zur Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* wurde die Sequenz außerdem nicht für sich alleine stehend, sondern in dem übergeordneten Kontext der Frage nach der Fairness rezipiert und diese durch die erarbeiteten Erkenntnisse beantwortet (Analyse 02). Das reflektierende Zuhören kann mit der von Baacke (1996) beschriebenen Medienkritik oder der vom Hessischen Kerncurriculum beschriebenen kritischer Mediennutzung (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 8) verbunden werden. Durch Berufung auf die Überprüfung im eigenen Experiment wurden die Inhalte der Radiosendung verifiziert (Analyse 02) und zu der im auditiven Medium präsentierten Argumentation kritisch Stellung bezogen, sodass eigene Schlussfolgerungen getätigt werden konnten (Analyse 3). Dabei unterstützten **focused self-explanation prompts** (Wylie & Chi, 2014) die zielgerichtete Rekonstruktion des Gehörten sowie das Generieren von deklarativem Wissen (Analyse 08). Ebenso führte die **enaktive Rekonstruktion** des Gehörten (Analyse 03) zu einer größeren Verarbeitungstiefe im Sinne des „Involvement“ (Mattstedt & Apel, 2012, S. 376). In **Transferaufgaben** konnten dann indirekte Höraufträge auf Grundlage des durch die Radiosendung vermittelten Wissens bearbeitet und gleichzeitig diese Inhalte vertieft und gesichert werden (Analyse 11). Als hilfreich dabei haben sich im Einklang mit Lampert & Wespe (2012), Reich et al. (2005) und Padberg-Schmidt (2020) das Vorkommen von **Narration und Personifizierung** durch die Protagonist:innen in der Sendung *Wann ist ein Spiel fair?* erwiesen. Diese Faktoren haben sowohl aufmerksames Zuhören als auch detailliertes Hörverstehen stark erleichtert und unterstützt (Analyse 01) sowie das „Herstellen von *Sinn*“ (Lampert & Wespe, 2012, S. 72) ermöglicht. Auf diese Weise konnten in dieser Unterrichtseinheit nicht nur das gelernte **Begriffswissen** in eigenen Worten wiedergegeben und eigene Vorstellungen oder Erkenntnisse der nachahmenden Untersuchung flexibel beschrieben werden, sondern es wurde auch die übergeordnete Frage der Sendung im Sinne des Lernzieles eigenständig beantwortet (Analyse 04). Durch die geschichtliche Einbettung konnte also die Konstruktion eines Situationsmodells zum mathematischen Problem untertützt werden (Anderson, 2013). Außerdem konnte durch den Anlass zum Experimentieren und Untersuchen der fachliche Gegenstand im Sinne der ersten Phase der Gestaltung sprachsensiblen Mathematikunterrichts „Doing an experiment“ (Gibbons, 2002, S. 43) in den Mittelpunkt des Interesses gerückt werden. Dies stellt nach Wittmann (2003) einen bedeutenden Bestandteil eines modernen Mathematikunterrichts dar.

Auch durch die Analysen der Dokumente von Schüler:innen (Analyse 07) konnten Schlussfolgerungen bzgl. des Hörverstehens und der Höraufträge gezogen werden: Es zeigte sich, dass die direkten Höraufträge ein intensives und selbstständiges Arbeiten am auditiven Medium ermöglichten und durch die focused self-explanation prompts (Wylie & Chi, 2014) die Rekonstruktion des Gehörten unterstützt werden konnte. Beispielsweise konnte durch das Anfertigen von Notizen oder das Bearbeiten spezifischer Höraufträge in den Forscherheften zum Haus der Vierecke das Herausfiltern relevanter Informationen im Sinne des selegierenden und detaillierten Hörverstehens (Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994) unterstützt werden. Die Dokumente der Schüler:innen geben gleichzeitig Einblick in die Potenziale der **Dokumentation des Gehörten** bzw. eigener Ergebnisse. Hier wird die Strukturierung der Informationen notwendig und kann von den Schüler:innen unterschiedlich gelöst werden – basierend auf ihrer Wissensstruktur. Auf den Steckbrief-Plakaten wurden beispielsweise die Anordnung der Eigenschaften und Unterbegriffe zu einem Oberbegriff (beim Quadrat und Rechteck) genutzt sowie Visualisierungen (auditiv vermittelter) mentaler Modelle festgehalten (Analyse 08). Die Dokumente der Schüler:innen dienen dementsprechend zur Diagnose und konnten hier beispielsweise Schlussfolgerungen über die Stufen geometrischen Denkens ermöglichen. Im weiteren Verlauf konnten sie dann als Wissensspeicher zur Unterstützung der anschließenden Einordnung in die Begriffshierarchie genutzt werden.

Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, liefert auditive Informationsvermittlung zwar eine monomodale Darstellung, es können jedoch multimodale Vorstellungsbilder aktiviert und damit mentale Modelle generiert werden. Die bei auditiven Medien fehlende visuelle Repräsentation kann im Sinne des Integrated Model (Schnotz & Bannert, 2003) ebenso durch verbale Beschreibungen oder Sound Images generiert werden. Auf diese Weise kann die **Konstruktion von Vorstellungsbildern und mentalen Modellen** stattfinden. Dabei ist die Struktur der generierten mentalen Modelle abhängig von der Struktur des rezipierten (Hör-)Textes (Caillies et al., 1993). Dies steht im Einklang mit den Hinweisen zur konzeptionellen Gestaltung auditiver Medien und den Aspekten des Storytellings (Kap. 3.4.1). In den Interaktionsanalysen konnte die Konstruktion mentaler Modelle an anschaulichen Sequenzen rekonstruiert werden. Aufgrund der fehlenden visuellen Repräsentationen wurden beispielsweise von den Schüler:innen selbstständig und unaufgefordert die Würfelbilder zu den Begriffen *Pasch* und *Straße* visualisiert (Analyse 01). Auch zu den Begriffen *konvex* und

konkav wurden durch die rein auditive Darstellung eigenständig mentale Repräsentationen entwickelt, die verglichen und besprochen werden konnten (Analyse 06). Auf diese Weise konnte die Erarbeitung der Begriffe und ihrer Vorstellungen auf ganz natürliche Weise und ohne vorgegebene visuelle Repräsentationen entstehen. Die Besprechung der Visualisierungen – als Externalisierung der Vorstellungen – stellte weiterhin eine produktive Herausforderung zur eloquenten Versprachlichung und zur Nutzung fachsprachlicher Elemente dar. Die Zeichnungen dienten bei dieser Aufgabe zum einen als Unterstützung zur Verständigung und zum anderen zur Verständnisüberprüfung. Sie können also Rückschlüsse auf das (auditiv vermittelte) mentale Modell zulassen.

Beim Korrigieren der Visualisierungen, die nicht zur Definition passten, wurden mentale Veränderungen im Sinne von **Vorstellungshandlungen** (Weber, 2007) vorgenommen, bei denen die Zeichnungen als visuelle Unterstützungen im Sinne der Hilfsmittel in Phase 1 und 3 kopfgeometrischer Aufgaben (Senftleben, 1996) genutzt wurden (Analyse 06). Diese Veränderungsprozesse bilden die Teilkomponente ‚räumliches Vorstellungsvermögen' ab (Franke, 2007). In vielen Interaktionen lassen sich durch Schüler:innen initiierte mentale Veränderungsprozesse finden, bei denen beachtliche Transferleistungen gezeigt werden – auch bezüglich der Teilkomponente ‚räumliche Beziehungen' (Franke, 2007; Analyse 09; Analyse 10). Dieses aktive und intensive mentale Operieren kann als fruchtbares Ergebnis der angeregten Vorstellungsübung angesehen werden, welche die Rezeption und Verarbeitung der Audiosequenzen initiiert hat.

Durch den Einsatz auditiver Medien konnte also über gelingendes Hörverstehen nicht nur Wissen generiert werden, sondern auch Vorstellungsbilder und mentale Modelle sowie Komponenten räumlichen Vorstellungsvermögens. Weiterhin wurden durch die Anregung zu eigenen Begründungen und Transferleistungen über die Vorstellungshandlungen neben dem geometrischen Denken auch spannende Argumentation, Medienkompetenz sowie die Verwendung von Bildungssprache sichtbar (Analyse 09). Diese stellt den nächsten Aspekt der Fokussierung dar.

Fachbezogene Sprachbildung

Auf sprachlicher Ebene konnten durch die Interaktionsanalysen an vielen Stellen Begriffsbildungsprozesse rekonstruiert werden. Durch die auditiven Medien konnte eine authentische **Einführung von Fachbegriffen** stattfinden und diese dann für die **Wortspeicherarbeit** verwendet werden. Dabei konnten die neu zu lernenden Begriffe durch

die oben beschriebenen focussed prompts von den Schüler:innen selbst aus den Hörtexten herausgefiltert werden. Dies steht im Gegensatz zu dem sonst normalen Vorgehen, bei dem die Fachbegriffe für den Wortspeicher von der Lehrkraft vorgegeben werden (müssen), weil sie „nicht einfach so entdeckt oder erraten werden" können (Götze, 2015, S. 35). Durch den Einsatz auditiver Medien werden die betreffenden Begriffe in authentischen Situationen oder durch die O-Töne von Expert:innen eingeführt und durch Soundeffekte markiert, sodass die Schüler:innen diese zum einen direkt in einem bedeutungsvollen Kontext kennenlernen und zum anderen selbstständig aus dem Beitrag herausarbeiten. Wie die Interaktionsanalysen zeigen, konnten in den Wirkungsgesprächen tatsächlich Begriffe und ihre Definitionen von den Lernenden rekonstruiert und für den Wortspeicher aufbereitet werden (Analyse 01). Auch in Transferaufgaben mit zeitlich größerem Abstand kann die eigenständige produktive Anwendung des durch den auditiven Beitrag erworbenen Fachwortschatzes beobachtet werden (Analyse 05).

Die Bedeutung neuer mathematischer Fachbegriffe wurde im Sinne sprachsensiblen Mathematikunterrichts in beiden Beiträgen teilweise sprachlich hervorgehoben durch Phrasen, die eine Präzisierung ankündigen (MF, Z. 197-198; MV, 30-31; 108) – wie „Dazu sagt man in der Mathematik…" (Meyer & Tiedemann, 2017, S. 91). Auf diese Weise wurde für die Lernenden transparent, dass es unterschiedliche präzise Ausdrucksweisen für einen Sachverhalt geben kann und die genaue Beschreibung mathematischer Phänomene ein wichtiger Bestandteil der Mathematik ist (Berg et al., 2018). Dieses Offenlegen sprachlicher Ziele kann der Förderung mathematischer Kommunikation dienen und wird durch die Radiosendungen auf ganz natürliche Weise eingebettet. In vielen Interaktions-Sequenzen konnte der Gebrauch der durch die Radiosendungen präsentierten **sprachlichen Vorbilder** beobachtet werden. Die Äußerungen orientierten sich teilweise stark am Wortlaut des Radiobeitrages (Konditionalgefüge, Wortwahl etc.), wodurch sich schlussfolgern ließ, dass das auditive Medium – in Verbindung mit den Äußerungen der Lehrkraft – von den Schüler:innen erfolgreich als Scaffolding (Gibbons, 2002) angenommen und genutzt wurde (Analyse 01, Analyse 05). Auch auf den Steckbrief-Plakaten lassen sich eindeutige sprachliche Vorbilder des Beitrages wiedererkennen. Als Beispiel lässt sich hier die Bezeichnung des Quadrates mit dem Schlüsselwort „Königin der Vierecke" (MV Z. 115) anführen, welches ikonisch mit dem Symbol einer Krone dargestellt wurde und damit wiederum eine Visualisierung ergänzt (Analyse 08). Gleichzeitig wurde durch die enaktive Rekonstruktion des Gehörten auch vertiefende sprachliche Lernprozesse angeregt. Hier zeigten sich sowohl in Interaktionen als auch in den Schülerdokumenten selbstständige Versuche einer sprachlichen Abgrenzung

verschiedener Begriffe, die über die sprachlichen Vorbilder des Radiobeitrages hinausgingen (Analyse 03) sowie kreative Formen individueller Begriffsbildungen im Sinne der ‚Sprache des Verstehens' (Wagenschein, 1968). Außerdem konnten auch gemeinsam ausgehandelte fach- und aufgabenspezifische Mittel rekonstruiert werden (Analyse 08) sowie Prozesse der gemeinsamen Aushandlung und Begründung. Bei der Bewertung des Glücksspiels gehen die Schüler:innen unaufgefordert und selbstständig aufeinander ein und ergründen mit selbstbestimmtem Fokus die Ursprungsfrage, ob das Spiel fair ist, anhand der Ergebnisse ihrer Untersuchungen (Analyse 03).

Sowohl beim Einordnen der Vierecke in die Begriffshierarchie als auch beim Untersuchen und Verwenden der Glücksspiele wenden die Schüler:innen die prozessbezogene Kompetenz „mathematisch argumentieren" (Kultusministerkonferenz, 2022b, S. 9) an und werden dabei von den Radiosendungen auch durch sprachliche Vorbilder in Form von **Argumentationsstrukturen** unterstützt. In verschiedenen Interaktionen konnte gezeigt werden, wie sich die Schüler:innen in ihrer Argumentation an den präsentierten argumentativen Satzstrukturen der Protagonist:innen oder Expert:innen orientierten und diese somit als wirkungsvolles verbales Mikro-Scaffolding (Gibbons, 2002; Meyer & Tiedemann, 2017) dienen konnten (Analyse 02, Analyse 04). Dabei dienten auch die Ergebnisse der Rekonstruktion des Gehörten (Tabelle und Notationen) zur sprachlichen Orientierung für die verständliche Kommunikation (Analyse 03). Gleichzeitig wurden durch die Anregung zu eigenen Begründungen und Transferleistungen kreative und selbstständige Wege der Argumentation initiiert (Analyse 09). Zur Entwicklung einer Argumentationskultur trägt insbesondere die problemhaltige Situation der Rahmengeschichte des Beitrages sowie das Schritt-für-Schritt-Nachempfinden der dort vorgestellten Untersuchungsschritte bei. Durch die authentische Situation wird die Notwendigkeit der Überprüfung der Spiele als dringlich erkannt, Untersuchungen durchgeführt und Argumentationen versprachlicht (Analyse 05). Ein weiterer **authentischer Anlass zur mathematischen Kommunikation** ist durch die Versprachlichungen der mentalen Vorstellungsbilder, Vorstellungshandlungen und Visualisierungen gegeben. Diese Versprachlichungen stellen eine produktive Herausforderung dar, welche die präzise Verwendung von bildungs-und fachsprachlichen Elementen sowie das Finden von Bezeichnungen für die operativen Veränderungsprozesse notwendig macht (Analyse 09, Analyse 10).

Auch in Bezug auf das **Begriffsverständnis** ließen sich Schlussfolgerungen ziehen. In Aufgaben des sachbezogenen Transfers (Maier & Schweiger, 1999), die zeitlich teilweise mehrere Unterrichtsstunden nach den Notice- und Intake-Strategien (Meaney et al, 2012) zu

den neuen Begriffen stattfanden, nutzten die Schüler:innen Begriffe fachbezogener Bildungssprache sicher und korrekt (Analyse 05). Die eigenständige Nutzung und der flüssige Output deuten auf das Erreichen eines integrierten Begriffsverständnisses hin (Vollrath, 1984). Auch die Schülerdokumente (Analyse 08) bzw. ihre Erstellungsprozesse (Analyse 07) geben Einblicke in die Begriffsbildungsprozesse der Schüler:innen im Hinblick auf die unterschiedlichen Stufen geometrischen Denkens (van Hiele, 1964). Insbesondere in den Interaktionen während der Einordnung der Vierecke in die Begriffshierarchie konnte rekonstruiert werden, dass eine Erweiterung des Begriffsverständnisses stattgefunden hat. Hier wurde das Erreichen der zweiten Niveaustufe des Begriffsverständnisses ‚abstrahierend-relationales Denken' (van Hiele, 1964) sichtbar, da über die Kenntnis der Eigenschaften der Figuren auch deren Beziehungen zueinander verstanden und kommuniziert werden sowie die Logik der Begriffshierarchie im Haus der Vierecke ergründet werden kann (Analyse 09, Analyse 10). Dabei setzen sich die Schüler:innen selbstständig aus unterschiedlichen Perspektiven (top-down vs. bottom-up) mit der Begriffshierarchie auseinander und leisten beachtliche Transferleistungen, da die Zusammenhänge innerhalb der Begriffshierarchie teilweise über die Inhalte der Radiosendung hinausgehen (Analyse 11). Bezugnehmend auf das ‚Mathematics Register Acquistition Model' (Meaney et al., 2012) ließ sich festhalten, dass die Arbeit mit auditiven Medien für Strategien auf den Stufen *Noticing*, *Intake* und *Integrate* genutzt werden konnten, um Begriffe einzuführen, Verstehensprozesse anzuregen und die Begriffsverwendung herauszufordern (Analyse 07). Insgesamt stellten die Radiosendungen also nicht nur einen authentischen Gesprächs- und Untersuchungsanlass dar, sondern auch gleichzeitig eine bildungs- und fachsprachliche Ressource sowie produktive sprachliche Herausforderung, durch die Begriffsbildungsprozesse initiiert werden konnten. In diesem Sinne lässt sich auch von Slow-Mapping-Prozessen sprechen (Kannengieser, 2019), da die Einträge im mentalen Lexikon durch Prozesse konstruktiver Auseinandersetzungen ausdifferenziert und gefestigt werden konnten. Durch den Einsatz auditiver Medien konnten also Slow-Mapping-Prozesse als Ziel von Anregungen zur Begriffsbildung unterstützt werden.

9.2.4 Mehrwert durch Reduktion

Zusammenfassend lassen sich also mit Blick auf die Ergebnisse der deskriptiven und rekonstruktiven Analysen produktive Lernprozesse im Bereich der Medienkompetenz, der Zuhörkompetenz und des Hörverstehens, der fachbezogenen Bildungssprache und dem Begriffswissen ausmachen sowie in Bezug auf Konstruktion und Verwendung von Vorstellungsbildern und mentalen Modelle. Grund für diese Vielzahl an didaktischen

Potenzialen ist die besondere Beschaffenheit auditiver Medien, die das größte bzw. ursprünglichste Potenzial darstellt: Die ‚Darstellungsisolierung' auditiver Medien bietet besondere Möglichkeiten der produktiven Herausforderung, die bei didaktisch und methodisch gut geplantem Unterricht zu verschiedenen Potenzialen führen können:

- Die Darstellungsisolierung kann zu kognitiver Aktivierung und sinnvoller Aufmerksamkeitslenkung auf die sprachlich vermittelten Informationen führen (Hinkelbein & Hoops, 1998). Auf diese Weise können der Extraneous Load reduziert und mentale Ressourcen für reichhaltige mathematische Aktivitäten genutzt werden (Rink & Walter, 2020).
- Gleichzeitig führt die Darstellungsisolierung zu einem Anstieg an Germane Load, da die Notwendigkeit besteht, die Vorstellungsbilder und mentalen Modelle zum Gehörten selbstständig zu konstruieren und ggf. zu visualisieren. Dies stellt eine produktive Herausforderung dar und kann im Sinne der Verlagerung der kognitiven Beanspruchung in die gewünschte Richtung (Rink & Walter, 2020) genutzt werden, um die Verschränkung von Wahrnehmung und Vorstellung zu fördern sowie durch Techniken der Elaboration Modelle zu entwickeln und Wissen zu vertiefen (Wermke, 2010).
- Aus sprachlicher Perspektive betrachtet führt die Darstellungsisolierung zum sprachlastigen Charakter auditiver Medien (Ritterfeld & Langenhorst, 2011) und bietet aufgrund dieser Besonderheit einen bedeutsamen Ansatz und eine Vielzahl an Möglichkeiten für den didaktischen Einsatz zur fachbezogenen Sprachförderung.

Es lässt sich also abschließend bemerken, dass es gerade die Reduktion auf nur eine – die auditive – Darstellungsebene ist, die zu einem didaktischen Potenzial auditiver Medien führt (E3). Um diesen Mehrwert sicherzustellen, ist die bewusste Analyse und Auswahl schülergerechter auditiver Medien (E1) sowie ein gewinnbringender Einsatz (E2) notwendig. Hier liegt es an der Lehrkraft, durch gute Kenntnisse, bewusstes Handeln und methodisch-versiertes Lehren die Entfaltung der in dieser Arbeit entwickelten Potenziale zu ermöglichen. Ist dies gegeben, können auditive Medien der Lehrkraft als Entlastung in der Wissensvermittlung, als Differenzierungsmöglichkeit, zur Dezentralisierung von Inhalten sowie zum sprachsensiblen Unterricht dienlich sein. Die vorliegende Arbeit kann in diesem Sinne als Anleitung auf dem Weg zu einem gewinnbringenden Einsatz auditiver Medien gelesen werden und soll einen Beitrag leisten zur Entfaltung dieser besonderen Potenziale.

9.4 Ausblick

In der durchgeführten Studie wurden komparativ zwei Radiosendungen analysiert und ihr Einsatz im Mathematikunterricht der Grundschule empirisch untersucht. Dabei wurden die inhaltsbezogenen mathematischen Kompetenzen ‚Daten und Zufall' und ‚Raum und Form' bedient (Kultusministerkonferenz, 2022b). Mögliche Anschlussforschung wäre somit für die anderen inhaltsbezogenen mathematischen Kompetenzen denkbar. Auch zu diesen Bereichen sind Radiosendungen im Angebot des Kinderfunkkollegs Mathematik vorhanden. Zu allen Sendungen wurden bereits Pilotierungen durchgeführt, welche den fachdidaktischen Einsatz auditver Medien in den Bereichen „Größen und Messen" sowie „Muster, Strukturen, funktionaler Zusammenhang" als vielversprechend und den Einsatz im Bereich „Zahl und Operation" als herausfordernd darstellten. Hier wären weitere detaillierte Untersuchungen möglich.

Weiterhin wäre der Einsatz in höheren Klassenstufen von Interesse. Die Beiträge des Kinderfunkkollegs Mathematik sind für die Zielgruppe der 8-13-Jährigen konzipiert und wurden aus diesem Grund in den Klassenstufen 2-6 erprobt. Für die Sekundarstufe 1 sind sie dementsprechend auch passend. Um die hier entwickelten Potenziale auditiver Medien auch der Sekundarstufe 2 zugänglich zu machen, müssten also zunächst passende Beiträge (auch hier gibt es viele Online-Angebote) im Hinblick auf die Qualitätskriterien hin ausgewählt, für den unterrichtlichen Einsatz aufbereitet und dieser untersucht werden.

Um bei dem in dieser Arbeit genutzten Angebot des Kinderfunkkollegs Mathematik zu bleiben, ist hier erwähnenswert, dass die Produktion weiterer Sendungen geplant ist, welche die in dieser Arbeit entwickelten Gestaltungsmerkmale bzw. günstigen Variationsdimensionen in den Blick nehmen. Außerdem befinden sich weitere Unterrichtsmaterialien im Entwicklungsprozess, die Ende des Jahres im Downloadportal des Kinderfunkkollegs als Begleitmaterial zu den Sendungen zur Verfügung stehen werden. Die Sendungen, das Begleitmaterial sowie die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Gelingensbedingungen und Potenziale sind schon – und werden weiterhin – auf verschiedensten Fortbildungen und Workshops für Lehrkräfte vorgestellt und praktisch erprobt, um die Forschungsergebnisse in die Praxis zu bringen und auch umgekehrt die Forschung bzw. Entwicklung weiterer Audioproduktionen mit der Praxis zu verknüpfen. Der Zuspruch und die Aufmerksamkeit, die das Projekt durch die verschiedensten Plattformen pädagogischer Kommunikation bekam sowie die Kooperationsbereitschaft von Lehrkräften weisen darauf hin, dass das Ergänzen angestoßener Ideen und Fragen durch weiterführende Forschungen und Projekte eine vielversprechende lohnenswerte Entwicklung ist.

Literatur

Abshagen, M. (2015). *Praxishandbuch Sprachbildung Mathematik. Sprachsensibel unterrichten – Sprache fördern*. Ernst Klett Sprachen GmbH.

Altmann, S., Hentschel, U. & Kurtzmann, (2017). *Denken und Rechnen - Arbeitsheft. Daten Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit 1/2*. Westermann.

Anderson, J. R. (2013). *Kognitive Psychologie* (7. Aufl.). Springer.

Astington, J.W. & Dack, L.A. (2008). Theory of Mind. In M. M. Haith, J. B. Benson (Eds.), *Encyclopedia of Infant and Early Childhood Development* (pp. 343–356). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-012370877-9.00163-8

Aukermann, M. (2007). A culpable CALP: Rethinking the controversioal /academic language profiency distinction in early literacy insteuction. *Read tech* 60(7), 626–635.

Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The Split-Attention Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 135-146). Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511816819.009

Baddeley, A. (2007). *Working Memory, Thought, and Action*. Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: University Press.

Baddeley, A. D. (1992). *Working memory*. Science, 2 55, 556–559.

Ballstaedt, S.-P. (1997). *Wissensvermittlung: die Gestaltung von Lernmaterial*. Beltz.

Bastians, E. (2018). Leseförderung durch textoptimierte Lese-/Fach-Texte in mehrsprachigen und inklusiven Lerngruppen. *Praxis Sprache* (1), 50–55. Schulz-Kirchner.

Berg, M., Götze, D. & Maske-Loock, M. (2018). *Das Zahlenbuch/Förderkommentar Sprache mit Kopiervorlagen und CD-ROM zum 3. Schuljahr: Fördern und Inklusion*. Klett.

Bergmann, E. (1969). *Schulfernsehen. Zur Entwicklung, Didaktik und Praxis*. Diesterweg.

Blum, W. (1999). *Die Grammatik der Logik. Einführung in die Mathematik*. München.

Bochnik, K. & Ufer, S. (2017). Fachsprachliche Kompetenzen im sprachsensiblen Mathematikunterricht der Grundschule. In D. Leiss, M. Hagena, A. Neumann & K. Schwippert (Hrsg.), *Mathematik und Sprache. Empirischer Forschungsstand und unterrichtliche Herausforderungen*. (S. 81–98). Waxmann.

Böhme, K., Robitzsch, A. & Buse, A. (2010). Zur Abgrenzung des Hörverstehens gegenüber Leseverstehen mit Hilfe schwierigkeitsbestimmender Merkmale bei der Entwicklung von Testaufgaben. In V. Bernius & M. Imhof (Hrsg.), *Zuhörkompetenz in Unterricht und Schule. Beiträge aus Wissenschaft und Praxis*. (S. 15–30). Vandenhoeck & Ruprecht GmbH.

Bohnsack, R. (2010). *Rekonstruktive Sozialforschung. Einführung in qualitative Methoden* (8. Aufl.) Opladen.

Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (4. Aufl.). Springer.

Bose, I. & Schwiesau, D. (2012). *Nachrichten schreiben, sprechen, hören. Forschungen zur Hörverständlichkeit von Radionachrichten*. Frank & Timme.

Bourdieu, P. F. (1982). *Die feinen Unterschiede. Kritik der gesellschaftlichen Urteilskraft*. Suhrkamp.

Brandt, B. (2009). Kollektives Problemlösen – eine partizipationstheoretische Perspektive. In M. Neubrand (Hg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 347-350). Münster: WTM.

Brown, J. & Fisher, P. (2006). Balanced literacy: One middle school's experience. *Principle Leadership,* 7 (1), 38–40.

Buck, G. (2001). *Assessing Listening*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511732959.005

Bühler, K. (1934). *Sprachtheorie. Die Darstellungsfunktion der Sprache*. Verlag von Gustav Fischer.

Buschmeier, G., Hacker, J., Kuß, H., Lack, C., Lammel, R., Weiß, A. & Wichmann, M. (2013). *Denken und Rechnen 4*. Westermann.

Caillies, S., Denhière, G., & Jhean-Larose, S. (1999). The intermediate effect: Interaction between prior knowledge and text structure. In H. van Oostendorp & S. R. Goldman (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 151–168). Lawrence Erlbaum Associates Publisher.

Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.

Cook L. K. & Mayer R. E. (1988) Teaching readers about the structure of scientific text. *Journal of Educational Psychology,* 80(4), 448–456. https://doi.org/10.1037/0022-0663.80.4.448

Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 104*(3), 268–294. https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268

Dalehefte, I. M., & Kobarg, M. (2012). Einführung in die Grundlagen systematischer Videoanalysen in der empirischen Bildungsforschung. In M. Gläser-Zikuda, T. Seidel, C. Rohlfs, A. Gröschner & S. Ziegelbauer (Eds.), *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung* (pp. 15–26). Waxmann.

Dannenbauer, F. M. (1984). Techniken des Modellierens in einer entwicklungsproximalen Therapie für dysgrammatisch sprechende Vorschulkinder. *Der Sprachheilpädagoge* 16/2, 35–49.

Denzin, N. K. (1970). *The Research Act*. Aldine/ Prentice Hall.

Dörfler, W. (2006). Diagramme im Mathematikunterricht. *Journal für Mathematikdidaktik,* 27 (3/4), 200–219.

Ehlich, K. (1999). Alltägliche Wissenschaftssprache. Info DaF, 26(1), 3–24.

Eichler, K.-P. (2010). Wie die Würfel fallen. Zufall und Wahrscheinlichkeit: Fakten und Anregungen. *Grundschule,* 5, 10–13.

Erath, K. & Prediger, S. (2015). Lernende beim Navigieren auf Erklärpfaden mitnehmen. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 57(64), 33–37.

Feilke, H. (2013). Bildungssprache und Schulsprache - am Beispiel literal-argumentativer Kompetenzen. In M. Becker-Mrotzek et al. (Hrsg.), *Sprache im Fach. Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (S. 113–130). Waxmann.

Feilke, H. (2016). Nähe, Distanz und literale Kompetenz.. Versuch einer erklärenden Rezeptionsgeschichte. In M. Hennig & H. Feilke (Hrsg.), *Zur Karriere von ‚Nähe und*

Distanz'. Rezeption und Diskussion des Koch-Oesterreicher-Modells (S.113–154). De Gruyter.

Fetzer, M. (2007). *Interaktion am Werk: Eine Interaktionstheorie fachlichen Lernens, entwickelt am Beispiel von Schreibanlässen im Mathematikunterricht der Grundschule*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Fischer, R. & Malle, G. (1985). Mensch und Mathematik. Mannheim: Bibliogr. Inst.

Flick, U. (2016). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Rowohlt Verlag GmbH.

Flick, U., von Kardorff, E. & Steinke, I. (2000). *Qualitative Sozialforschung – Ein Handbuch*. Rowohlt.

Franke, M. (2007). *Didaktik der Geometrie in der Grundschule*. Elsevier GmbH.

Frederking, V., Axel K. & Maiwald K. (2012). *Mediendidaktik Deutsch. Eine Einführung*. Erich Schmidt.

Garrod, S. & Sanford, A. (1993). Incrementality in Discourse Understanding. In H. van Oostendorp & S. R. Goldmann (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 3–28) Psychology Press.

Gathercole, S. & Baddeley, A. (1993). *Working memory and language*. Lawrence Erlbaum Associates

Geißner, H. (1988). Mündlich – Schriftlich. Analysen freigesprochener und vorgelesener Berichte. *Grazer Linguistische Studien*.

Gibbons, P. (2002). *Scaffolding Language, Scaffolding Learning. Teaching Second Language Learners in the Mainstream Classroom*. Heinemann.

Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (2010). *Grounded theory: Strategien qualitativer Forschung*. Huber.

Gogolin, I. (2008). Herausforderung Bildungssprache. *Die Grundschulzeitschrift*, 22 (215/216), 26.

Gogolin, I. (2009). Zweisprachigkeit und die Entwicklung bildungssprachlicher Fähigkeiten. In I. Gogolin & U. Neumann (Hrsg.), *Streitfall Zweisprachigkeit – The Bilingual Controversy* (S. 263–280) SV Verlag für Sozialwissenschaften.

Götze, D. (2015). *Sprachförderung im Mathematikunterricht*. Cornelsen.

Götze, D. (2019). Schriftliches Erklären operativer Muster fördern. *Journal für Mathematikdidaktik* 40(1), 95–121.

Götze, D. & Hang, E. (2017). Mathematische Sprache und Ausdruck: Chancen und Möglichkeiten eines sprachaktivierenden und -fördernden Mathematikunterrichts. In U. Häsel-Weide & M. Nührenbörger (Hrsg.), *Gemeinsam Mathematik lernen - mit allen Kindern rechnen* (S. 68–77). Grundschulverband - Arbeitskreis Grundschule e.V.

Grabowski, J. (Hrsg.) (2007): *Atkinsons und Hilgards Einführung in die Psychologie* (14. Aufl.). Spektrum.

Grothe, B. (2000). Wie funktioniert das Hören? Einblicke in neurobiologische Grundlagen. In L. Huber & E. Odersky (Hrsg.), *Zuhören – Lernen – Verstehen* (S. 39–57). Westermann.

Günther, H. (1997) Mündlichkeit und Schriftlichkeit. In H. Balhorn & H. Niemann (Hrsg.), *Sprachen werden Schrift. Mündlichkeit - Schriftlichkeit – Mehrsprachigkeit* (S. 64–73). Libelle.

Gürtler, L. & Huber, G. L. (2012). Triangulation. Vergleiche und Schlussfolgerungen auf der Ebene der Datenanalyse. In M. Gläser-Zikuda, Seidel, T., Rohlfs, C. & Gröschner, A. (Hrsg.), *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung* (S. 37–50). Waxmann.

Gutenberg, N. (1994). Für's Sprechen schreiben – Für's Hören sprechen. Anmerkungen zum Sprach- und Sprechstil von Nachrichten. *Sprechen* 12/1, 26–30.

Gutenberg, N. (2000). Mündlich realisierte schriftkonstituierte Textsorten. 1. Halbband Text- und Gesprächslinguistik. In K. Brinker, G. Antos, W. Heinemann & S. F. Sager (Hrsg.), *Text- und Gesprächslinguistik / Linguistics of Text and Conversation - 1. Halbband* (S. 574–587). De Gruyter Mouton. https://doi.org/10.1515/9783110194067-054

Haag, N., Heppt, B., Stanat, P., Kuhl, P. & Pant, H. A. (2013). Second language learners' performance in mathematics: disentangling the effects of academic language features. *Learning and Instruction,* 28(1), 24–34.

Hagen, M. (2006). *Förderung des Hörens und Zuhörens in der Schule. Vol. 6*. Vandenhoeck & Ruprecht.

Halliday, M. A. K. (1974). Some aspects of sociolinguistics. *Nairobi Report. Interactions between Linguistics and Mathematical Education*. UNESCO: ED - 74/CONF, 808.

Hasemann, K. (2009). Meilensteine bei der Kompetenzentwicklung im Bereich ‚Daten'. *Grundschule Mathematik,* 21, 14–17.

Hasemann, K. & Mirwald, E.: (2016). Daten, Häufigkeit, Wahrscheinlichkeit. In G. Walther M. van den Heuvel-Panhuizen, D. Granzer, O. Köller (Hrsg.), *Bildungsstandards für die Grundschule: Mathematik konkret* (7. Aufl.). (S. 141–161). Cornelsen.

Hasemann, K. & Mirwald, E. (2008). Wie sicher ist wahrscheinlich? Kompetenzerwerb im Bereich paten, Häufigkeit, Wahrscheinlichkeit. *Grundschule*, 4, 24–27.

Hasselhorn, M. (2017). Arbeitsgedächtnis und Sprachentwicklungsstörungen. Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Diagnostik. *Sprachförderung und Sprachtherapie in Schule und Praxis* 6 (2017) 3, 175–181. https://doi.org/10.25656/01:16123

Haun, D. & Rakoczy, H. (2012). Teil lll: Entwicklung ausgewählter Funktionsbereiche. In W. Schneider & U. Lindenberger (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (S. 337–575). Beltz Verlag.

Heinze, A., Herwartz-Emden, L., Braun, C. & Reiss, K. (2011). Die Rolle von Kenntnissen der Unterrichtssprache beim Mathematiklernen. Ergebnisse einer quantitativen Längsschnittstudie in der Grundschule. In S. Prediger & E. Özdil (Hrsg.), *Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit – Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung in Deutschland* (S. 11–33). Waxmann.

Helmerich, M. & Lengnink, K. (2016). *Einführung Mathematik Primarstufe – Geometrie*. Springer Spektrum.

Heppt, B. M. (2016). *Verständnis von Bildungssprache bei Kindern mit deutscher und nicht-deutscher Familiensprache* (Dissertation). Humboldt-Universität zu Berlin. https://doi.org/10.18452/17534

Hermann, T. (1976). *Die Psychologie und ihre Forschungsprogramme*. Hogrefe.

Hermann, T. (1995). *Allgemeine Sprachpsychologie*. Beltz.

Hessisches Kultusministerium (2011). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder: Das neue Kerncurriculum für Hessen. Primarstufe. Mathematik*. [Onlinedokument: https://kultusministerium.hessen.de/Unterricht/Kerncurricula-und-Lehrplaene/Kerncurricula/Kerncurricula-Primarstufe.Mathematik, aufgerufen am 04.07.2021]

Hinkelbein, H. D. & Hoops, W. (1998). Video im Medienverbund. In H.G. Klinzing (Hrsg.), *Neue Lernverfahren* (S.81–109). DGVT.

Hinrichs, U. (1991). *Linguistik des Hörens. Hörverstehen und Metakommunikation im Russischen*. Wiesbaden.

Hoffer, A, (1997). *Geometry and Visualization. Mathematics Resource Project*. Creative Publications.

Holland, G. (1996). *Geometrie in der Sekundarstufe. Didaktische und methodische Fragen* (2. Aufl.). BI-Wissenschaftsverlag.

Holland, G. (2007). *Geometrie in der Sekundarstufe: Entdecken - Konstruieren – Deduzieren*. Verlag Franzberger.

Holsti, O. R. (1969). *Content Analysis for the social and humanities*. AddisonWesley.

Huber, L. & Odersky E. (2000). *Zuhören – Lernen – Verstehen*. Westermann.

Ilgner, K. (1974). Die Entwicklung des räumlichen Vorstellungsvermögens von Klasse 1 bis 10. *Mathematik in der Schule* 12/13, 693–714.

Imhof, M. (1995). *Mit Bewegung zur Konzentration? Zu den Funktionen motorischer Nebentätigkeiten beim Zuhören*. Waxmann.

Imhof, M. (2001). How to listen more efficiently: Self-monitoring strategies in listening. *International Journal of Listening, 15*, 2-19.

Imhof, M. (2002). In the eye of the beholder – Children's perception of good and poor listening behavior. *International Journal of Listening, 16,* 40–56.

Imhof, M. (2003). *Zuhören. Psychologische Aspekte auditiver Informations- verarbeitung*. Vandenhoeck & Ruprecht.

Imhof, M. (2004). *Zuhören und Instruktion – Empirische Zugänge zur Verarbeitung mündlich vermittelter Information*. Waxmann.

Imhof, M. (2008). What Have You Listened to in School Today? *International Journal of Listening, 22(1),* 1–12. https://doi.org/10.1080/10904010701802121

Imhof, M. (2010). Zuhören lernen und lehren – Psychologische Grundlagen zur Beschreibung und Förderung von Zuhörkompetenzen in Schule und Unterricht. In V. Bernius & M. Imhof (Hrsg.), *Zuhörkompetenz in Schule und Unterricht*. Vandenhoeck & Ruprecht, S. 15–30.

Imhof, M. (2013). Zuhören lernen und lehren. *Hörgeschädigtenpädagogik,* 94–99.

Jones, G., Thornton, C., Langrall, C., Mooney, E., Perry, B., Nisbet, S., & Putt, I. (2000). Assessing and fostering children's statistical thinking. *International Association for Statistical Education* (ICME), 9, 35–44.

Jörg, S. (2000). Der erste Sinn? Von der Bedeutung des Hörens in der Entwicklung des Kindes. In L. Huber & E. Odersky (Hrsg.), *Zuhören – Lernen – Verstehen* (S. 72–80). Westermann.

Kahlert, J. (2000): Ganzheitlich lernen mit allen Sinnen? Plädoyer für einen Abschied von unergiebigen Begriffen. *Grundschulmagazin,* 68/12, S. 37-40.

Kannengieser, S. (2019). *Sprachentwicklungstörungen: Grundlagen, Diagnostik und Therapie - mit Zugang zur Medizinwelt* (4. Aufl.). Urban & Fischer in Elsevier.

Kelle, U. & Kluge, S. (2010). *Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung*. Opladen.

Klose, R. (2022). *Mathematische Begriffsbildung – PriMaPodcasts im bilingualen Kontext*. Waxmann.

Kniffka, G. (2012). Scaffolding: Möglichkeiten, im Fachunterricht sprachliche Kompetenz zu vermitteln. In M. Michalak & M. Kuchenreuther (Hrsg.), *Grundlagen der Sprachdidaktik Deutsch als Zweitsprache* (S. 208–225). Schneider Verlag Hohengehren.

Koch, P. & Oesterreicher, W. (1985). Sprache der Nähe – Sprache der Distanz. Mündlichkeit und Schriftlichkeit im Spannungsfeld von Sprachtheorie und Sprachgeschichte. *Romanistisches Jahrbuch* 36, 15–43.

Koch, S. (2016). Qualitative Inhaltsanalyse als Methode der organisationspädagogischen Forschung – Erkenntnispotenziale und -grenzen. In M. Göhlich, S. Weber, A. Schröer, M. Schemmann, (Eds.) *Organisation und Methode: Beiträge der Kommission Organisationspädagogik*, 27–39. https://doi.org/10.1007/978-3-658-13299-6_3

Krämer, W. (2015). *So lügt man mit Statistik*. Campus Verlag.

Krauthausen, G. (2018). *Einführung in die Mathematikdidaktik – Grundschule* (4. Aufl.). Springer Spektrum.

Krummheuer, G. (2004). Wie kann man Mathematikunterricht verändern? Innovation von Unterricht aus Sicht eines Ansatzes der Interpretativen Unterrichtsforschung. *Journal für Mathematikdidaktik 25* (2), 112–129.

Krummheuer, G. & Brandt, B. (2001). *Paraphrase und Traduktion: Partizipationstheoretische Elemente in einer Interaktionstheorie des Mathemaiklernens in der Grundschule*. Beltz.

Krummheuer, G. & Fetzer, M. (2005). *Der Alltag im Mathematikunterricht: Beobachten - Verstehen - Gestalten*. Spektrum Akademischer Verlag.

Krummheuer, G. & Naujok, N. (1999). *Grundlagen und Beispiele Interpretativer Unterrichtsforschung*. Leske + Budrich.

Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Beltz Juventa.

Kultusministerkonferenz (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2022a). *Bildungsstandards für das Fach Deutsch Primarbereich (Jahrgangsstufe 4)*. [Onlinedokument: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2022/2022_06_23-Bista-Primarbereich-Deutsch.pdf, aufgerufen am 17. Januar 2023]

Kultusministerkonferenz (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2022b). *Bildungsstandards für das Fach Mathematik Primarbereich*. [Onlinedokument: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2022/2022_06_23-Bista-Primarbereich-Mathe.pdf, aufgerufen am 17. Januar 2023]

Kultusministerkonferenz (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2019). *Empfehlung. Bildungssprachliche Kompetenzen in der deutschen Sprache stärken*. [Onlinedokument: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2019/2019-12-06_Bildungssprache/2019-368-KMK-Bildungssprache-Empfehlung.pdf, aufgerufen am 25.06 2020]

Kunkel-Razum, K., Scholze-Stubenrecht, W., Wermke, M. & Auberle, A. (Hrsg.) (2007). *Duden, deutsches Universalwörterbuch* (7. Aufl.). Dudenverlag.

Kurtzmann, G; Sill, H. (2013). *Leitidee „Daten, Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit" - Fachliche und fachdidaktische Grundlagen mit Hinweisen für den Unterricht in der Primarstufe*. Universität Rostock.

Kütting, H. & Sauer, M. (2014). *Elementare Stochastik. Mathematische Grundlagen und didaktische Konzepte* (3. Aufl.). Springer Spektrum.

Lambert, A. (2006). *Ein Einstieg in die reflektierende Modellbildung mit Produktiven Aufgaben*. Istrom, 10, 75–90.

Lampert, M. & Wespe, R. (2012). *Storytelling für Journalisten* (2., überarbeitete Aufl.). UVK.

Lauer, N. (1999). *Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter*. Thieme.

Leisen, J. (2013). *Handbuch Sprachförderung im Fach - Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis*. Klett-Sprachen.

Leisen, J., & Seyfarth, M. (2006). Was macht das Lesen von Fachtexten so schwer? Hilfen zur Beurteilung von Texten. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. 5, 9–11.

Leuders, J. (2012). Förderung der Zahlbegriffsentwicklung bei sehenden und blinden Kindern. Empirische Grundlagen und didaktische Konzepte. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2549-0

Leutner, D., & Schmeck, A. (2014). The Generative Drawing Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 433–448). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.022

Linn, M.C. & Petersen, A.C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479–1498. http://dx.doi.org/10.2307/1130467.

Linneweber-Lammerskitten, H. (2012). Sprachkompetenz im Mathematikunterricht. In M. Ludwig & M. Kleine (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2012* (S. 561–564). WTM-Verlag.

Linneweber-Lammerskitten, H. (2016). Erstellung und Einsatz kurzer Videoclips zur Förderung mathematischer Kompetenzen. Zwei Kooperationsprojekte der PH FHNW mit der Rhodes University in Südafrika. In Pädagogische Hochschule (Hrsg.), Forschungsbericht 2015/16 (S. 21–23). Fachhochschule Nordwestschweiz.

Low, R., & Sweller, J. (2005). The Modality Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 147–158). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.010

Luckmann, T. (1979). Soziologie der Sprache. In R. König (Hrsg.), *Handbuch der empirischen Sozialforschung,* Band 13 (S. 1–116). Enke.

Lüders, C. (2011). Gütekriterien. In R. Bohnsack, A. Geimer & M. Meuser (Hrsg.), *Hauptbegriffe qualitative Sozialforschung* (3. Aufl.) (S. 80–82). Budrich.

Maier, H. & Schweiger, F. (1999). *Mathematik und Sprache. Zum Verstehen und Verwenden von Fachsprache im Mathematikunterricht* (1. Aufl.). öbv & hpt.

Maier, P.H. (1999). *Räumliches Vorstellungsvermögen. Ein theoretischer Abriß des Phänomens räumliches Vorstellungsvermögen*. Auer Verlag GmbH.

Martignon, L. & Wasner, C. (2005). Schulung frühen stochastischen Denkens bei Kindern. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 8(2), 202–222.

Mattstedt, N. & Apel, H. (2012). Medienwirkungen - Methoden ihrer realitätsnahen Messung. In I. Bose & D. Schwiesau (Hrsg.), *Nachrichten schreiben, sprechen, hören. Forschungen zur Hörverständlichkeit von Radionachrichten* (S. 375–412). Frank & Timme.

MAXQDA (2022). *Software für qualitative Datenanalyse*. Berlin: Sozialforschung GmbH.

Mayer, R. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 31–48). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.004

Mayer, R. (2021). Science of Learning: Determining How Multimedia Learning Works. In R. Mayer (Ed.) *Multimedia Learning* (pp. 29–62). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316941355.004

Mayer, R. & Pilegard, C. (2014). Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pretraining, and Modality Principles. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. ed.) (pp. 316–344). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.016

Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (*12., überarbeitete Aufl.). Beltz Verlag.

Mayring, P & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur und J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 633–648). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42

Mayring, P. (2001). Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse [31Absätze]. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum Qualitative Social Research*, 2(1), Art. 6. [Onlinedokument: http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs010162, aufgerufen am 31.01.2020]

Meaney, T., Trinick, T. & Fairhall, U. (2012). *Collaborating to meet language challenges in indigenous mathematics classrooms* (Vol. 52). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1994-1.

Meibauer, J. & Rothweiler, M. (Hrsg.) (1999). *Das Lexikon im Spracherwerb*. A. Francke Verlag.

Meyer, M. (2015). *Vom Satz zum Begriff. Philosophisch-logische Perspektiven auf das Entdecken, Prüfen und Begründen im Mathematikunterricht*. Springer.

Meyer, M. & Tiedemann, K. (2017). *Sprache im Fach Mathematik* Springer.

Meyer, M. & Prediger, S. (2012). Sprachenvielfalt im Mathematikunterricht – Herausforderungen, Chancen und Förderansätze. *Praxis der Mathematik in der Schule*, PM 54(45). 2–9.

Moschkovich, J. (2002). A situated and sociocultural perspective on bilingual mathematics learners. *Mathematical Thinking and Learning*, 4(2/3), 189–212.

Moschkovich, J. (2013). Principles and guidelines for equitable mathematics teaching practices and materials for English language learners. *Journal of Urban Mathematics Education,* 6(1), 45–67.

Moschkovich, J. (2018). Recommendations for research on language and learning mathematics. *Language and Communication in Mathematics Education*, 37–47. Springer.

Motsch, H.-J. (2017). *Kontextoptimierung. Evidenzbasierte Intervention bei grammatischen Störungen in Therapie und Unterricht* (4. Aufl.). Ernst Reinhard Verlag.

Motsch, H.-J., Gaigulo, D. & Ulrich, T. (2022). *Wortschatzsammler. Evidenzbasierte Strategietherapie lexikalischer Störungen im Kindesalter*. Ernst Reinhardt Verlag.

Müller, H. (1995). Aufgaben zur Schulung der Raumanschauung. Ein Ansatz zur Klassifizierung. *Mathematik in der Schule 33/4*, 214–221.

Müller, K. (2012). *Hörtexte im Deutschunterricht. Poetische Texte hören und sprechen*. Klett/Kallmeyer.

Müller-Brauers, C., Stark, L., & von Lehmden, F. (2017). Einpassung literater Strukturen: Wie Kinder den Input aus Vorlesesituationen produktiv nutzen. *Frühe Bildung, 6*(4), 199–206. https://doi.org/10.1026/2191-9186/a000346

Naphegyi, S. (2021). Digitale Hördetektive: Aufbau von literalen Kompetenzen durch die niederschwellige Bereitstellung von digitalen Hörtexten. *Grundschulmagazin* (5), 56–61.

Nebe-Ribaki, U. (1994). Hörverstehen in der Fremdsprache. In Eggers, D. (Hrsg.), *Hörverstehen. Erwachsenengemäßes Lehren und Lernen einer Fremdsprache* (S. 55–76). Johannes-Gutenberg-Universität, Zentralstelle für Wissenschaftl. Weiterbildung.

Neubert, B. (2011). Welcher Zufallsgenerator ist der Beste? Spielerisch-experimentelle Zugänge ermöglichentheoretische Überlegungen zu Kombinatorik, Zufall und Wahrscheinlichkeit. *Grundschulunterricht Mathematik* (58)4, 4 –6.

Neubert, B. (2012). *Leitidee: Daten, Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit. Aufgabenbeispiele und Impulse für die Praxis*. Mildenberger Verlag.

Neubert, B. (2019) *Kombinatorik: Aufgabenbeispiele und Impulse für die Grundschule*: Mildenberger Verlag GmbH.

Neubert, B. & Schnabel, S. (2017). „Schweinereien" – Grundschüler untersuchen einen asymmetrischen. Zufallsgenerator. *Stochastik in der Schule,* 37/3, 25–29.

Neuf-Münkel, G. (1988). Hörverstehen. In D. Eggers (Hrsg.), *WEGE. Lehrerhandbuch. Deutsch als Fremdsprache* (S. 13–25). Hueber.

Niebuhr-Siebert, S., & Ritterfeld, U. (2012). HörspielbasierteSprachlerneffekte bei Vorschulkindern mit spezifischenSprachentwicklungsstörungen. *Sprache Stimme Gehör,* 36, 11–18. http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1301335

Nohl, A. (2011). Komparative Analyse. In R. Bohnsack, A. Geimer & M. Meuser (Hrsg.). *Hauptbegriffe Qualitativer Sozialforschung* (3. Aufl.) (S. 100–102). Verlag Barbara Budrich.

Nührenbörger, M. & Schwarzkopf, R. (2010a). Die Entwicklung mathematischen Wissens in sozial-interaktiven Kontexten. In C. Böttinger, K. Bräuning, M. Nührenbörger, R.

Schwarzkopf & E. Söbbeke (Hrsg.), *Mathematik im Denken der Kinder. Anregungen zur mathematikdidaktischen Reflexion* (S. 73–81). Klett.

Nührenbörger, M., & Schwarzkopf, R. (2010b). Diskurse über mathematische Zusammenhänge. In C. Böttinger, K. Bräuning, M. Nührenbörger, R. Schwarzkopf, & E. Söbbeke (Hrsg.), *Mathematik im Denken der Kinder. Anregungen zur mathematikdidaktischen Reflexion* (S. 169–215). Klett-Kallmeyer.

Ordolff, M. & Wachtel, S. (2014). *Texten für TV* (4. Aufl.). UVK.

Pabst-Weinschenk, M. (2011). Hörverstehen und Sprechdenken. In M. Pabst-Weinschenk (Hrsg.), *Grundlagen der Sprechwissenschaft und Sprecherziehung* (2. Aufl.). Ernst Reinhardt.

Pabst-Weinschenk, M. & Wachtel, S. (2011). Schriftgeprägte Mündlichkeit: „Schreiben fürs Hören". In M. Pabst-Weinschenk (Hrsg.), *Grundlagen der Sprechwissenschaft und Sprecherziehung* (2. Aufl.). Ernst Reinhardt.

Padberg-Schmitt, B. (2020). Increasing Reading Fluency in Young Adult Readers Using Audiobooks. *Children's Literature in English Language Education Journal,* 8(1), 31–51.

Padberg-Schmitt, B. (2022). Die Verwendung von Hörbüchern zur Verbesserung der Lesekompetenz von Schüler*innen mit Legasthenie. In M. Jungwirth, N. Harsch, Y. Noltenmeier, M. Stein & N. Willenberg (Hrsg.), *Diversität Digital Denken: The Wider View, 8,* 279–290. https://doi.org/10.37626/GA9783959871785.0.

Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual coding approach*. Oxford University Press.

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods (3rd ed.)*. Sage.

Peirce, C. S. (1931–1958). *Collected Writings* (Vols. 1 –8). (Eds. C. Hartshorne, P. Weiss, & A. W. Burks). Harvard University Press.

Pelz, H. (1998). *Linguistik. Eine Einführung* (3. Aufl.). Hoffmann und Campe.

Peters, F. (2019). Specialized language support in mathematics education through the use of radio resources. *Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. Utrecht University.

Peters, F. (2021). Auditiven Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe. In A.-S. Steinweg (Hrsg.), *Tagungsband des AK Grundschule in der GDM 2021* (S. 83–86). University of Bamberg Press.

Peters, F. & Schreiber, Chr. (2020). Radio und Mathematik. Einsatz von auditiven Medien im Mathematikunterricht. In B. Brandt, L. Bröll & H. Dausend (Hrsg.), *Digitales Lernen in der Grundschule II – Aktuelle Trends in Forschung und Praxis* (S. 241–257). Waxmann.

Pleimfeldner, M., & Bernius, M. (2013). Podcasts als digitale Lernmedien. Didaktische Chancen und Hinweise. *Computer + Unterricht. Lernen und Lehren mit digitalen* Medien, 90, 32–35.

Pöhler, Birte. (2018). *Konzeptuelle und lexikalische Lernpfade und Lernwege zu Prozenten*. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21375-6.

Prediger, S. (2013). Darstellungen, Register und mentale Konstruktion von Bedeutungen und Beziehungen – Mathematikspezifische sprachliche Herausforderungen identifizieren und überwinden. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann & H.J. Vollmer

(Hrsg.), *Sprache im Fach – Sprachlichkeit und fachliches Lernen*. (S. 167–183). Waxmann.

Prediger, S. (2022). Sprache im Fach. Warum Sprachförderung in jedem Fach stattfinden sollte und wie das funktioniert. *Biss Transfer Journal* (16), 9–12.

Prediger, S. & Sahin-Gür, D. (2020). Eleventh graders' increasingly elaborate language use for disentangling amount and change – A case study on the epistemic role of syntactical language complexity. *Journal für Mathematikdidaktik*, 41(1), 43–79.

Prediger, S. & Wessel, L. (2011). Darstellen – Deuten - Darstellungen vernetzen: Ein fach- und sprachintegrierter Förderansatz für mehrsprachige Lernende im Mathematikunterricht. In S. Prediger & E. Özdil (Hrsg.), *Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit – Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung* (S. 163–184). Waxmann.

Prediger, S., Wilhelm, N., Büchter, A., Gürsoy, E. & Benholz, C. (2015). Sprachkompetenz und Mathematikleistung – Empirische Untersuchung sprachlich bedingter Hürden in den Zentralen Prüfungen 10. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 36(1), 77–104.

Radatz, H. (1986). Anschauung und Sachverstehen im Mathematikunterricht der Grundschule. *Beiträge zum Mathematikunterricht 1986* (S. 239–242). Franzbecker.

Radatz, H. & Rickmeyer, K. (1991). *Handbuch für den Geometrieunterricht an Grundschulen*. Schroedel.

Reber, K. & Schönauer-Schneider, W. (2014). Bausteine sprachheilpädagogischen Unterrichts (3. Aufl.). *Praxis der Sprachtherapie und Sprachheilpädagogik*, Band 2. Ernst Reinhard Verlag.

Reich, K., Speck-Hamdan, A. & Götz, M. (2005). Qualitätskriterien für Lernsendungen. In *TELEVIZION* 18 (2), S.86–91.

Richardson, W. (2011). *Wikis, Blogs und Podcasts. Neue und nützliche Werkzeuge für den Unterricht*. TibiaPress.

Ritterfeld, U. & Langenhorst, M. (2011). Zeigen sprachauffällige 6- bis 12-Jährige spezifische Vorlieben in der Mediennutzung? *L.O.G.O.S. Interdisziplinär*, 19(3), S. 188–194.

Ritterfeld, U., Lüke, T., Hengel, R. & Niebuhr-Siebert, S. (2012). Die Wetterschacht-Detektive. Eine Hörspielserie zur Sprachförderung. *L.O.G.O.S. Interdisziplinär,* 20, 164–172. https://doi.org/10.7345/prolog-1203164

Ritterfeld, U., Niebuhr, S., Klimmt, C. & Vorderer, P. (2006). Unterhaltsamer Mediengebrauch und Spracherwerb: Evidenz für Sprachlernprozesse durch die Rezeption eines Hörspiels bei Vorschulkindern. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 18, 60–69. https://doi.org/10.1026/1617-6383.18.2.60

Röhm, A., Starke, A. & Ritterfeld, U. (2017). Die Rolle von Arbeitsgedächtnis und Sprachkompetenz für den Erwerb mathematischer Basiskompetenzen im Vorschulalter. *Psychologie in Erziehung und Unterricht,* 64, 81–93. https://doi.org/10.2378/peu2016.art26d

Roth, J. & Wittmann, G. (2014). Ebene Figuren und Körper. In H.-G. Weigand et al. (Hrsg.), *Didaktik der Geometrie für die Sekundarstufe I* (2. Aufl.) (S. 123–156). Springer Spektrum.

Rott, B. (2018). Empirische Zugänge zu Heurismen und geistiger Beweglichkeit in den Problemlöseprozessen von Fünft- und Sechstklässlern. *Mathematica Didactica* 41, 1, 1–29.

Ruwisch, S. (2009). Beschreibende Statistik. *Grundschule Mathematik*, 21, 40–43.

Sacks, H. (1998). *Lectures on conversation* (3. Aufl.). Blackwell.

Schilcher, A., Röhrl, S. & Krauss, S. (2017). Sprache im Mathematikunterricht – eine Bestandaufnahme des aktuellen didaktischen Diskurses. In D. Leiss, M. Hagena, A. Neumann & K. Schwippert (Hrsg.), *Mathematik und Sprache. Empirischer Forschungsstand und unterrichtliche Herausforderungen* (S. 11–42). Waxmann.

Schill, W. (1998). Auditive Medien im Unterricht. Ein medienpädagogischer Orientierungsrahmen. *Medien praktisch*, 1, 19–23.

Schindler, V., Moser Opitz, E., Cadonau-Bieler, M. & Ritterfeld, U. (2019). Überprüfung und Förderung des mathematischen Fachwortschatzes der Grundschulmathematik – eine empirische Studie. *Jornal für Mathematik-Didaltik* 40 (1), 1–36.

Schipper, W. (2011). *Handbuch für den Mathematikunterricht an Grundschulen*. Westermann Schroedel.

Schipper, W., Ebeling, A. & Dröge, R. (2013). *Handbuch für den Mathematikunterricht. 3. Schuljahr*. Westermann.

Schleppegrell, M. (2004). *The language of schooling: A functional linguistics perspective*. Lawrence Erlbaum.

Schmeck, A. (2011). *Visualisieren naturwissenschaftlicher Sachverhalte: Der Einsatz von vorgegebenen und selbst generierten Visualisierungen als Textverstehenshilfen beim Lernen aus naturwissenschaftlichen Sachtexten* (Dissertation). Universität Duisburg-Essen. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:464-20110120-111525-3

Schneider, W., Baumert, J., Becker-Mrotzek, M., Hasselhorn, M., Kammermeyer, G., Rauschenbach, T., Roßbach, H.-G., Roth, H.-J., Rothweiler, M. & Stanat, P. (2012). *Expertise „Bildung durch Sprache und Schrift (BiSS)“: Bund-Länder-Initiative zur Sprachförderung, Sprachdiagnostik und Leseförderung*. Verfügbar unter: http://www.biss-sprachbildung.de/ueber-biss/biss-expertise [25.06.20].

Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 49–70). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.005

Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 1(3), S. 141–156.

Schreiber, Chr., Schütte, M., & Krummheuer, G. (2015). Qualitative mathematikdidaktische Forschung: Das Wechselspiel zwischen Theorieentwicklung und Adaption von Untersuchungsmethoden. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme, H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 591–612). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8_22

Schreiber, Chr. (2010). *Semiotische Prozess-Karten. Chatbasierte Inskriptionen in mathematischen Problemlöseprozessen*. Waxmann.

Schreiber, Chr. & Klose, R. (2014). Audio-Podcasts zu mathematischen Themen – Begriffsbildung mit digitalen Medien. In S. Ladel & Chr. Schreiber (Hrsg.*), Lernen, Lehren und Forschen mit digitalen Medien in der Primarstufe* (2. Band) (S. 31–60). WTM.

Schreiber, Chr., & Klose, R. (2022). Darstellen und Kommunizieren – neu gedacht?! In G. Pinkernell, H. Reinhold, F. Schacht & D. Walter (Hrsg.), *Digitales Lehren und Lernen*

von Mathematik in der Schule (S. 375–397). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65281-7_16

Schröder, A., & Ritterfeld, U. (2014). Zur Bedeutung sprachlicher Barrieren im Mathematikunterricht der Primarstufe: Wissenschaftlicher Erkenntnisstand und Reflexion in der (Förder-)Schulpraxis. *Forschung Sprache*, 1, 49–69.

Schwarzkopf, R. (1999). Argumentationsprozesse im Mathematikunterricht. In M. Neubrand (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 461–464). Franzbecker.

Schwenke, A. (2018). Radionachrichten als Spezialfall mündlichen Sprachgebrauchs: Über Spielräume, Ideale und Angemessenheitsvorstellungen. In S. Diao-Klager & G. Albert (Hrsg.), *Mündlicher Sprachgebrauch zwischen Normorientierung und pragmatischen Spielräumen* (S. 303–316). Stauffenburg.

Selter, Chr. & Zannetin, E. (2018). *Mathematik unterrichten in der Grundschule: Inhalte – Leitideen – Beispiele*. Kallmeyer.

Selter, Chr., & Spiegel, H. (2004). Elemente der Kombinatorik. In G. Müller, H. Steinbring & E. Ch. Wittmann (Hrsg.), *Arithmetik als Prozess* (S. 291–310). Kallmeyer.

Senftleben, H.-G. (1996). Erkundungen zur Kopfgeometrie (unter besonderer Beachtung der Einbeziehung kopfgeometrischer Aufgaben in den Mathematikunterricht der Grundschule). *Journal für Mathematikdidaktik* 17(1) 49 – 72.

Sill, H. & Kurtzmann, G. (2019). *Didaktik der Stochastik in der Primarstufe*. Springer Spektrum.

Soeffner, H.-G. (1989). *Auslegung des Alltags – Der Alltag der Auslegung*. Suhrkamp.

Spinner, K.H.: Literarisches Lernen. *Praxis Deutsch* (2006) 200, 6–16.

Spreng, M. (2002). Die Wirkung von Lärm auf die Sprachentwicklung des Kindes. In L. Huber, J. Kahlert & M. Klatte (Hrsg.), *Die akkustische gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton* (S. 43–60). Vandenhoeck & Ruprecht

Stanat, P., Schipolowski, S., Schneider, R., Sachse, K. A., Weirich, S. & Henschel, S. (2022). *Kompetenzen in den Fächern Deutsch und Mathematik am Ende der 4. Jahrgangsstufe: Erste Ergebnisse nach über einem Jahr Schulbetrieb unter Pandemiebedingungen. Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen*. [Onlinedokument: https://www.iqb.hu-berlin.de/bt/BT2021/Bericht/, aufgerufen am 13.4.2023]

Strübing, J. (2011). Theoretisches Sampling. In R. Bohnsack, A. Geimer & M. Meuser (Hrsg.), *Hauptbegriffe Qualitativer Sozialforschung (*3. Aufl.) (S. 154–155). Verlag Barbara Budrich.

Suri, H. (2011). Purposeful sampling in qualitative research synthesis. *Qualitative research journal,* 11(2), 63–75. https://doi.org/10.3316/QRJ1102063.

Swain, M. (1985). Communicative Competence: Some Roles of Comprehensible Input and Comprehensible Output in its Development. In S. M. Gass & C. Madden (Hrsg.), *Input in Second Language Acquisition* (S. 235–256). Newbury House.

Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251–296.

Sweller, J. (2005). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 19–30). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.003

Szűcs, K. (2016). Umgang mit Heterogenität unter Verwendung von (digitalen) Medien im Mathematikunterricht. In Pädagogische Hochschule Heidelberg (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016,* Band 2 (S. 967-970). WTM.

Tapiero & Otero (1999). Distinguishing Between Textbase and Situation Model in the Processing of Inconsistent Information: Elaboration Versus Tagging. In H. van Oostendorp & S. R. Goldmann (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 341–365). Psychology Press.

Targońska, J. (2011). *Lexikalische Kompetenz – ein Plädoyer für eine breitere Auffassung des Begriffs*. [Onlinedokument abgerufen am 13.4.2020: http://pressto.amu.edu.pl/index.php/gl/article/viewFile/322/229]

Taylor, H. & Tversky, B. (1992). Spatial mental models derived from survey and route desriptions. *Journal of Memory and Language*, 31, 261–292.

Terhart, E. (1978). *Interpretative Unterrichtsforschung. Kritische Rekonstruktion und Analyse konkurrierender Forschungsprogramme der Unterrichtswissenschaft*. Klett.

Thürmann, E. (2010). Zur Konstruktion von Sprachgerüsten im bilingualen Sachfachunterricht. In Doff, S. (Hrsg.), *Bilingualer Sachfachunterricht in der Sekundarstufe. Eine Einführung* (S. 137–153). narr.

Thurstone, L. L. (1937). Ability, motivation, and speed. *Psychometrika, 2,* 249–254. https://doi.org/10.1007/BF02287896.

Thurstone, L. L. (1950). Some Primary Abilities in Visual Thinking. *Proceedings of the American Philosophical Society*, *94*(6), 517–521. http://www.jstor.org/stable/3143593.

Tiedemann, K. (2012). *Mathematik in der Familie: Zur familialen Unterstützung früher mathematischer Lernprozesse in Vorlese- und Spielsituationen*. Waxmann.

Tiedemann, K. (2015). Unterrichtsfachsprache - Zur interaktionalen Normierung von Sprache im Mathematikunterricht der Grundschule. *Mathematica didactica*, 38, 37 – 62.

Tiedemann, K. (2017). Sprache trifft Material. In A. S. Steinweg (Hrsg.), *Mathematik und Sprache. Tagungsband des AK Grundschule in der GDM 2017* (S. 41–56). University of Bamberg Press.

Van den Broek, P., Young, M., Tzeng, Y., & Linderholm, T. (1999). The Landscape model of reading: Inferences and the online construction of memory representation. In H. van Oostendorp & S. R. Goldman (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 71–98). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Van Hiele, P. M. (1964). Piagets Beitrag zu unserer Einsicht in die kindliche Zahlbegriffsentwicklung. In K. Odenbach et al. (Hrsg.), *Rechenunterricht und Zahlbegriff – Die Entwicklung des kindlichen Zahlbegriffs und ihre Bedeutung für den Rechenunterricht* (S. 105–131). Westermann.

Verboom, L. (2008). Mit dem Rhombus nach Rom. Aufbau einer fachgebundenen Sprache im Mathematikunterricht der Grundschule. In C. Bainski & M. Krüger-Potratz (Hrsg.), *Handbuch Sprachförderung* (S. 95–112). Neue Deutsche Schule Verlagsgesellschaft.

Verboom, L. (2017). Wege durch den Sprachförderdschungel – Strukturierung des Fachwortschatz-Lernprozesses. In A. S. Steinweg (Hrsg.), *Mathematik und Sprache. Tagungsband des AK Grundschule in der GDM 2017* (S. 57–72). University of Bamberg.

Voigt, J. (1984). *Interaktionsmuster und Routinen im Mathematikunterricht: Theoretische Grundlagen und mikroethnographische Falluntersuchungen*. Beltz.

Voigt, S. (2019). Kombinatorik sprachsensibel unterrichten. Zugänge schaffen durch handlungs- und sprachorientierten Unterricht. In Kurtzmann, G. (Hrsg.), *Mathematik Grundschulunterricht*, 3/2019, Oldenburg.

Vollmer, H. J. & Thürmann, E. (2012). Checkliste zum sprachsensiblen Fachunterricht. *Praxis der Mathematik in der Schule* 54, 10–12.

Vollmer, H. J., Thürmann, E. (2013). Sprachbildung und Bildungssprache als Aufgabe aller Fächer in der Regelschule. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann, H. Johannes Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach. Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (S. 41–57). Waxmann.

Vollrath, H.-J. (1984). *Methodik des Begriffslehrens im Mathematikunterricht*. Klett.

Vom Hofe, R. (1995). *Grundvorstellungen mathematische Inhalte*. Spektrum Akademischer Verlag.

Vygotski, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wachtel, S. (2013). *Schreiben fürs Hören. Trainingstexte, Regeln und Methoden* (5. Aufl.). UVK.

Wagenschein, M. (1968*). Verstehen lehren. Genetisch - Sokratisch - Exemplarisch*. Weinheim.

Walter, D. (2018). Nutzungsweisen bei der Verwendung von Tablet-Apps - Eine Untersuchung bei zählend rechnenden Lernenden zu Beginn des zweiten Schuljahres. Springer.

Warren R.M. (1970). Perceptual restorations of missing speech sounds. *Science* 167(3917), 392–393.

Watzlawick, P. (1969). *Menschliche Kommunikation*. Bern.

Weber, C. (2007). *Mathematische Vorstellungen bilden: Praxis und Theorie von Vorstellungsübungen im Mathematikunterricht der Sekundarstufe II*. h.e.p. Verlag.

Weber, C. (2011). Kopfgeometrie – ein Aufgabenformat wandelt sich. In H. Reinhold & L. Holzäpfel (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2011* (S. 887–890). WTM.

Weigand, H.-G. (2014). Begriffslernen und Begriffslehren. In H.-G. Weigand et al. (Hrsg.), *Didaktik der Geometrie für die Sekundarstufe I* (2. Aufl.) (S. 99–122). Springer Spektrum.

Weigand, H.-G. (2015). Begriffsbildung. In R. Bruder, L. Hefedehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematik* (S.2 55–279). Springer Spektrum Verlag.

Weinert, S. & Grimm, H. (2008). Sprachentwicklung. In R. Oerter, L. Nontada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (6. Aufl.) (S. 502–534). Beltz.

Wermke, J. (2010). Hördidaktik und Hörästhetik. Lesen und Verstehen auditiver Texte. In V. Frederking, A. Krommer & Chr. Meier (Hrsg.), *Taschenbuch des Deutschunterrichts Band 2 Literatur und Mediendidaktik* (S. 182–201). Schneider.

Wermke, J. (2000). Hörästhetik als Aufgabe der Medienerziehung im Deutschunterricht. In L. Huber & E. Odersky (Hrsg.), *Zuhören – Lernen – Verstehen* (S.127–136). Westermann.

Wessel, L. (2015). *Fach- und sprachintegriert Fördern durch Darstellungsvernetzung und Scaffolding. Ein Entwicklungsforschungsprojekt zum Anteilbegriff*. Springer Spektrum.

Wiedenmann, M. (2000). Probleme beim Hörverstehen und Folgen für den Schriftspracherwerb. In L. Huber & E. Odersky (Hrsg.), *Zuhören – Lernen – Verstehen* (S.137–148). Westermann.

Wiley, J., Sanchez, C., & Jaeger, A. (2014). The Individual Differences in Working Memory Capacity Principle in Multimedia Learning. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (*pp. 598–620). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.029

Wylie, R., & Chi, M. T. H. (2014). The self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 413–432). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.021

Wittmann, E.Ch. (1999). Konstruktion eines Geometriecurriculums ausgehend von Grundideen der Elementargeometrie. In H. Henning (Hrsg.), *Mathematik lernen durch Handeln und Erfahrung (*S. 205–223). Bültmann u. Gerriets.

Wittmann, E.Ch. (2003). Was ist Mathematik und welche pädagogische Bedeutung hat das wohlverstandene Fach auch für den Mathematikunterricht in der Grundschule? In Baum, M., Wielpütz, H. (Hrsg.), *Mathematik in der Grundschule. Ein Arbeitsbuch* (S. 18–46). Kallmeyer.

Wollring, B. (1994). Animistische Vorstellungen von Vor- und Grundschulkindern in stochastischen Situationen. *Journal für Mathematikdidaktik,* 15, 3–34 https://doi.org/10.1007/BF03338799

Wood, D., Bruner, J. & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology & Psychiatry,* 17 (2), 89–100.

Wood, T. (1998). Alternative patterns of communication in mathematics classes: Funneling or focusing? In H. Steinbring, M. G. B. Bussi, & A. Sierpinska (Eds.), *Language and communication in the mathematics classroom* (pp. 167–178). NCTM.

Zeuge, W. (2021). *Nützliche und schöne Geometrie: Eine etwas andere Einführung in die Euklidische Geometrie* (2. Aufl.). Springer Spektrum.

Zimpel, A.F. (2016). *Lasst unsere Kinder spielen! Der Schlüssel zum Erfolg*. (4. Aufl.). Vandenhoeck und Ruprecht.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modales Informationsverarbeitungsmodell des menschlichen Gedächtnisses (entnommen aus Baddeley, 2007, S. 3) ... 18
Abbildung 2: Three Assumptions of a Cognitive Theory of Multimedia Learning (entnommen aus Mayer, 2005, S. 34) ... 22
Abbildung 3: Verarbeitung auditiver und visueller Reize in den jeweiligen Sinneskanälen (entnommen aus Mayer, 2005, S. 43) ... 23
Abbildung 4: Five Cognitive Processes in the Cognitive Theory of Multimedia Learning (entnommen aus Mayer, 2005, S. 41) ... 24
Abbildung 5: Modell des Arbeitsgedächtnisses (in Anlehnung an Baddeley 2007, S.147) ... 26
Abbildung 6: Die phonologische Schleife‘(in Anlehnung an Baddeley, 2007) ... 29
Abbildung 7: Three demands on cognitive capacity (entnommen aus Mayer, 2021, S. 51) ... 32
Abbildung 8: Integrated model of text and picture comprehension (entnommen aus Schnotz, 2005, S. 57) ... 40
Abbildung 9: Anteil an Unterrichtszeit in einer 45-minütigen Schulstunde, in der Zuhören eingefordert wird (entnommen aus Imhof, 2008, S. 7) ... 48
Abbildung 10: Unterrichtssituationen, in denen Zuhören eingefordert wird (entnommen aus Imhof, 2008, S. 8) 49
Abbildung 11: Zuhören als mehrstufiger Prozess der Informationsverarbeitung (entnommen aus Imhof, 2010, S. 19) ... 51
Abbildung 12: Selbstregulation in den Phasen des Zuhörens (entnommen aus Imhof, 2010, S. 20) ... 53
Abbildung 13: Kriterien zum Beurteilen von Hörtexten (entnommen aus Wachtel, 2013, S. 106) ... 84
Abbildung 14: Modell der Generative Theory of Drawing Construction (entnommen aus Schmeck, 2019, S. 29) ... 101
Abbildung 15: Organon-Modell nach Karl Bühler (entnommen aus Pelz, 1998, S. 47) ... 108
Abbildung 16: Merkmale konzeptioneller Schriftlichkeit und Mündlichkeit nach Koch und Oesterreicher (1985) (entnommen aus Günther, 1997, S. 66) ... 113
Abbildung 17: Spezifizierung des Kontinuums von Alltags- zu Fachsprache (entnommen aus Wessel, 2015, S. 26) ... 118
Abbildung 18: ‚Stolpersteine‘ der Bildungssprache (entnommen aus Bastians, 2018, S. 51) ... 121
Abbildung 19: Die wichtigsten Typen von Vierecken (entnommen aus Zeuge, 2021, S. 116) ... 198
Abbildung 20: Begriffshierarchie im ‘Haus der Vierecke’ (entnommen aus Franke, 2007, S. 103) ... 200
Abbildung 21: Das ‘Haus der Vierecke’ (entnommen aus Roth & Wittmann, 2014, S. 137) ... 201
Abbildung 22: Das ‘Haus der Vierecke’ wie es in der Radiosendung dargestellt wird ... 202
Abbildung 23: Räumliche Fähigkeiten (in Anlehnng an Franke 2007, S. 56) ... 207
Abbildung 24: Drehmodell zur Untersuchung der Drehsymmetrie ... 232
Abbildung 25: Das ‘Haus der Vierecke’ nach der exemplarischen Untersuchung des Quadrates ... 233
Abbildung 26: Vorgehensweise der Datenauswertung ... 243
Abbildung 27: Kameraposition Plenum (Einheit ‚Zufallsexperimente‘, Klasse 4, Zyklus 3) ... 258
Abbildung 28: Beispielhafter Transkriptionsausschnitt (TF_2Z_4K_2S) ... 259

Abbildung 29: Prozessmodell induktiver Kategorienbildung (entnommen aus Mayring 2015, S. 86) 263
Abbildung 30: Auszug aus dem induktiv entwickelten Kategoriensystem (A3) 266
Abbildung 31: Arbeitsfläche in MAXQDA 2022 267
Abbildung 32: MAXQDA-Auszug aus der Projektdatei ‚Vierecke' codiert von Codierer1 274
Abbildung 33: MAXQDA-Auszug aus der Projektdatei ‚Vierecke' codiert von Codierer2 275
Abbildung 34: Auszug aus dem Kategoriensystem (Anhang A3) 279
Abbildung 35: Induktiv entwickeltes Kategoriensystem 280
Abbildung 36: Ausschnitt aus dem Kategoriensystem (Hauptkategorie HK1) 283
Abbildung 37: Zusammenstellung codierter Segmente für K8a (Bezug zu Erklärungen aus dem Beitrag) (Dokument: TF_2Z_4K_PA1_NT; Lernumgebung: Zufallsexperimente) 288
Abbildung 38: Codelandkarte (Dokument: gesamtes Material; Lernumgebung: Zufallsexperimente) 289
Abbildung 39: MAXQDA-Ausschnitt (Dokument: TF_2Z_4K_1S; Lernumgebung: Zufallsexperimente) 290
Abbildung 40: Schwerpunktsetzung im Kategoriensystem 291
Abbildung 41: Relative Häufigkeit der codierten Segmente (Dokument: gesamtes Material; Lernumgebung: Haus der Vierecke) 292
Abbildung 42: Relative Häufigkeit der codierten Segmente OHNE Kategorie K9 (Dokument: gesamtes Material; Lernumgebung: Zufallsexperimente) 293
Abbildung 43: Dokument-Portrait (Einheit: Haus der Vierecke; gesamtes Material) 295
Abbildung 44: Wortspeicherplakat nach den Vorschlägen zur Visualisierung von Lea und Sarah 304
Abbildung 45: Ausgefülltes Arbeitsblatt zur Ermittlung der Würfelkombinationen und möglichen Ausgänge von Atay und Amelie 314
Abbildung 46: Ausschnitt des Schülerdokumentes von Tarik und Nora 316
Abbildung 47: Tafelbild zur Untersuchung des Spiels auf das Verhältnis der Würfelkombinationen 317
Abbildung 48: Ausgefülltes Arbeitsblatt zur Ermittlung der Würfelkombinationen und möglichen Ausgänge von Atay und Amelie 319
Abbildung 49: Materialien an der Station „Glücksrad 1" 330
Abbildung 50: Steckbrief-Plakat zum Parallelogramm von Lena und Yael 367
Abbildung 51: Steckbrief-Plakat für das Quadrat 370
Abbildung 52: Steckbrief-Plakat für die Raute 371
Abbildung 53: Steckbrief-Plakat für das Rechteck 372
Abbildung 54: Vorstellungshandlungen von Paula (links) und Julia (rechts) 392
Abbildung 55: Toms mentaler Transformationsprozesses vom Quadrat zum Rechteck 394
Abbildung 56: Paulas mentaler Transformationsprozesses vom Rechteck zum Quadrat 395
Abbildung 57: Vollständiges Haus der Vierecke 398

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Schwierigkeitsbestimmende Merkmale für das Lese- und Hörverstehen (nach Böhme et al., 2010, S. 90) ……85

Tab. 2: Merkmale des Hörverstehens (in Anlehnung an Leisen & Seyfarth, 2006, S. 11; ergänzt mit Leisen, 2013; Pleimfeldner & Bernius, 2013; und Wachtel, 2013 ……86

Tab. 3: Darstellung der Lernumgebung ‚Wahrscheinlichkeit und Zufallsexperimente '.……187

Tab. 4: Einteilung der Arten geometrischer Begriffe in der Grundschule (in Anlehnung an Franke, 2007, S. 101) ……217

Tab. 5: Darstellung der Lernumgebung zum ‚Haus der Vierecke'……..231

Tab. 6: Ausgewählte Fälle für die komparative Analyse……251

Tab. 7: Komparation der Variationsdimensionen……412

Anhang

A1: Transkriptionslegende

Die Transkriptionslegende stellt dar, wie Pausen, Handlungen und Betonungen im Transkript erkennbar gemacht werden.

Format / Symbol	**Art der zugehörigen para- und nonverbalen Äußerung**
. .. …	Pause von einer, zwei oder drei Sekunde(n)
(*x Sek.*)	Pause mit angegebener Länge ab 4 Sekunden
Normal	Keine besondere Auffälligkeit
kursiver Text	Beschreibung von paralinguistischen Aspekten (z.B. Flüstern), Mimik und Gestik sowie Handlungen
%	Ende einer Sprechweise, Gestik, Mimik oder Handlung
Fett	Betont oder laut gesprochen
g e s p e r r t	langsam und gedehnte gesprochen
/	Stimmhebung
-	Stimme bleibt in der Schwebe
\	Stimmsenkung
<S <L	Partiturschreibweise. Gleichzeitige Äußerungen oder Handlungen zweier Interagierender
#	Äußerungen knüpfen unmittelbar aneinander an

Die Kennzeichnung gleichzeitiger Äußerungen oder Handlungen zweier Interagierender ähnelt der Kennzeichnung von Partituren in der Musik: die durch spitze Klammern („<“) gekennzeichneten Zeilen sind parallel zu lesen. Die Raute („#“) zeigt Redeüberschneidungen oder Unterbrechungen an und markiert deshalb sowohl das Ende der abgekürzten Äußerung, als auch den Beginn der eingeworfenen Äußerung.

Die Transkripte sind in Tabellenform dargestellt. Dabei werden in der ersten Spalte die Zeilen des Transkriptes fortlaufend gezählt, sodass im Text mit Zeilenangaben in spitzen Klammern auf Textpassagen verwiesen werden kann: <67>. Die zweite Spalte gibt die Zeit an, die seit Beginn der Videoaufnahme vergangen ist und die dritte Spalte den jeweils Interagierenden. Die Lehrkraft ist immer mit „L“ abgekürzt. An einigen wenigen Stellen konnte nicht rekonstruiert werden, wer der Sprechende ist, da die Kinder aufgrund der Pandemie in einigen Erhebungen Masken trugen. In diesem Fall wurde für den Interagierenden „Schüler:in“ notiert. In der vierten Spalte sind verbale Äußerungen, Handlungen und Gesten nach den in der Trankriptionslegende beschriebenen Regeln festgehalten. Audio-Ausschnitte aus den Radiosendungen des Kinderfunkkollegs sind grau hinterlegt, um sie von den eigentlichen Interaktionen kenntlich abzugrenzen.

A2: Übersicht über die Transkriptausschnitte für die Detailanalyse

Insgesamt wurden über 20 Stunden Videomaterial transkribiert. Um bei der Menge an entstandenen Daten den Überblick zu wahren, wurde für jede Unterrichtsstunde oder Partnerarbeitsphase ein eigenes Transkript erstellt und mit einem Code versehen (Anhang A9). Anhand dieses Codes kann eine Sequenz im Transkript verortet bzw. gefunden werden. Die Codes dienen damit auch für Verweise im Text. Sie erklären sich folgendermaßen: Das Transkript mit dem Code TV_3Z_6K_S3 ist ein Transkript zur Einheit Vierecke (TV) aus dem dritten Erhebungs-Zyklus (3Z) in der sechsten Klasse (6K) und beinhaltet die gesamte dritte Stunde (S3). Das Transkript mit dem Code TV_3Z_6K_PA beinhaltet die Partnerarbeit (PA) aus derselben Erhebung.

Selbstredend konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht das gesamte empirische Material in der Detailanalyse ausgewertet werden. Wie in Kapitel 8.1 beschrieben, erfolgte durch die qualitative Inhaltsanalyse und die Aspekte der Fokussierung eine Auswahl auf einzelne Sequenzen, zu denen eine ausführliche, schriftliche Fixierung der Interaktionsanalyse vorgenommen wurde (Kap. 8.2 und 8.3). Weitere durchgeführte Interpretationen, die jedoch nicht verschriftlich wurden, sind in dieser Aufführung nicht berücksichtigt.

#	Transkriptausschnitt	Aspekte der Fokussierung	Code
01	Pasch und Straße	- Fachbezogene Bildungssprache: Wortspeicher erstellen (fair/unfair, Pasch, Straße) - Visualisierung mentaler Vorstellungen: visuelle Ebene wird eingefordert	TF_1Z_4K_1S
02	Wortspeicherarbeit „Chance“	- Hörverstehen: Verständnisüberprüfung nach Erstrezeption - Fachbezogene Bildungssprache o Argumentieren über das Verhältnis der Gewinnchancen o Begriffsklärung Chance Part 2: Hörverstehen, BV, Scaffolding, Argumentationsstruktur, Mediennutzung	TF_2Z_4K_2S
03	Kombinationsmöglich-keiten	- Fachbezogene Bildungssprache: Erarbeitung Wortspeicher - Hörverstehen: Bezug zwischen aufgestellter Problematik und eigener Untersuchung	TF_2Z_4K_2S
04	Besprechung der Tabelle	- Hörverstehen: Rekonstruktion des Gehörten in einer Tabelle	TF_2Z_4K_2S

		- Fachbezogene Bildungssprache: o Versuch einer sprachlichen Abgrenzung o mathematisches Beschreiben kann o Gesprächs- und Diskussionsanlass durch produktive Irritationen o gemeinsame Aushandlung / Entwicklung einer Erklärung	
05	Partnerarbeit am Glücksrad	- Fachbezogene Bildungssprache: Argumentation in anderen Kontexten (Transfer) anhand neu gelernter Begriffe	TF_1Z_4K_SG
06	Konvex und Konkav	- Visualisierung mentaler Vorstellungen: Konstruktion, Vorstellungshandlungen	TV_3Z_6K_1S
07	Partnerarbeit Parallelogramm	- Hörverstehen: Dezentral, Tempo und Pausen, eigenständiges und selektives Arbeiten	TV_3Z_6K_PA
08	Analyse der Steckbriefe	- Fachbezogene Bildungssprache: Strukturierung des Wissens, Begriffsbildung	Schülerdokumente (TV_2Z_4K)
09	Einordnung der Raute und mentale Veränderungsprozesse	- Hörverstehen: Medienkritik - Visualisierung mentaler Vorstellungen: Vorstellungsbild & -handeln, räumliches Vorstellungsvermögen - Fachbezogene Bildungssprache: Begriffswissen Verwandtschaft & Hierarchie	TV_2Z_4K_4S
10	Einordnung des Rechtecks und Begriffsverständnis	- Fachbezogene Bildungssprache: aufgabenbezogene sprachliche Mittel, Verwandtschaft klären = Transferleistung - Visualisierung mentaler Vorstellungen: Vorstellungshandlung	TV_2Z_4K_4S
11	Begriffshierarchie	- Hörverstehen: Top-down vs. down-up Analyse, Transfer, indirekte Höraufträge - Fachbezogene Bildungssprache: inhaltliches & integriertes Begriffsverständnis, MRA-Model	TV_2Z_4K_4S

Hauptkategorie	Code	Kategorie	Beschreibung	Beispiel
HK 1 Aspekte mathematisch-konzeptuellen Lernens	K 1	Vorstellungsbilder und mentale Modelle	Beschreibung von Vorstellungsbildern und -handlungen sowie kopfgeometrische (Lösungs-) Prozesse (gedankliches Bearbeiten und Bewegen); Konstruktion und Visualisierung mentaler Modelle	„weil wenn mans . wenn .. wenn man das Quadrat langzieht ähm sieht das genauso aus wie das Rechteck\“ (TV_2Z_4K_4S, Z.791-792)
	K 2	Wissensbasis (deklaratives & prozedurales mathematisches Wissen)	Beschreibung oder Nutzung von - statischem Wissen über (mathematische) Fakten, Konzepte und Prinzipien. - Verfahren, Algorithmen und Prozeduren zur Konstruktion (hier auch das Wissen über die Regeln der Zufallsexperimente) - Verknüpfung und Anwendung von (deklarativem) Wissen. (in Abgrenzung zu K10b)	„und dann ä h w e r den halt der Drachen wird so aufgebaut dass nachdem man die Holzstäbe **aufeinander** gesetzt hat . dass dann die **Ecken** verbunden werden“ (TV_2Z_4K_3S, Z.-4345)
	K 3	Heurismen	Nutzung von Heurismen & Suchstrategien (Rott, 2018) bzw. Forschermitteln & Forscherstrategien (Selter & Zannetin, 2018) - Heuristische Hilfsmittel (z.B. Ordnungsmaßnahmen wie Tabellen, Hilfslinien, Farben & Pfeile) - Suchstrategien (z.B. Muster suchen oder bereits gefundene Ergebnisse nutzen)	„ja wir ham . ä h h u und noch dass er eine Symmetrieachse hat- die ham wir hier rot eingezeichnet“ (TV_2Z_4K_3S, Z.33-35)
	K 3	Mathematische Handlungen & Realitätserfahrungen	Ausführen von oder Bezug zu eigenen mathematischen Handlungen, geometrischen Tätigkeiten, Experimenten sowie deren Ergebnissen. Schließt auch Diagrammatisches Denken (Dörfler, 2006) mit ein.	„und wir haben rausgekriegt dass man viel mehr halt- im Bereich der **Zehn** würfelt weil man halt zwei Würfel hat\“ (TF_2Z_4K_5S, Z.121-123)
	K 5	Transferleistung	Übertragen von Erkenntnissen und Schlussfolgerungen auf andere Beispiele / Kontexte (low level Transfer); Zusammenhänge herstellen, Vernetzen von Begriffen und Erkenntnissen (high level transfer)	„und ä h m die hat jetzt keinen rechten Winkel aber wenn mans . so macht wie eben dann hätte man vier rechte Winkel\“ (TV_2Z_4K_4S, Z.277-279)
	K 6a	Bezug zu Repräsentanten aus dem auditiven Medium	Nur mathematisch-inhaltliche Repräsentanten und Beispiele; nicht in Bezug auf die Rahmengeschichte (in Abgrenzung zu K12)	„die Straße und das ist eins zwei oder drei vier“ (TF_1Z_4K_1S; Z. 176)
	K 6b	Eigene Repräsentanten	Nennen eigener Beispiele & Repräsentanten sowie Rückbezug zu eigenen Beispielen (bzw. denen der eigenen Gruppe) und zu Beispielen von Mitschüler:innen/ anderen Gruppen (in Abgrenzung zu K6a)	„also also das Karo von dem ä h m Spielkarten von Spielkarten\“ (TV_2Z_4K_1S, Z.277-278)

Hauptkategorie	Code	Kategorie	Beschreibung	Beispiel
HK2 Aspekte fachsprachlichen Lernens	K 7a	Scaffolding durch das auditive Medium	Audio-Sequenzen werden abgespielt; Begriffe oder Phrasen aus dem Beitrag werden übernommen (Mikro-Scaffolding)	„das man äh sich die besser vorstellen k a n n .. und . äh wie die miteinander verwandt sind\“ (TV_2Z_4K_1S, Z.217-218)
	K 7b	Scaffolding durch die Lehrkraft	Lehrkraft praktiziert Mikro-Scaffolding; Begriffe oder Phrasen der Lehrkraft werden übernommen	„Genau\ zwei gleiche Zahlen- . A l s o *(schreibt auf das Plakat)* beide Würfel zeigen die gleiche Zahl“ (TF_1Z_4K_1S, Z.214-215)
	K 8a	Bezug zu Erklärungen aus dem auditiven Medium	Wiedergeben von Sachverhalten, Definitionen etc.	„dass das Quadrat ganz oben ist\ . die Königin\“ TV_2Z_4K_4S, Z.190)
	K 8b	Eigene Erklärungen und Definitionen	Eigene Erklärungen oder Erklärungsversuche sowie Rückbezug zu eignen Erklärungen (bzw. denen der eigenen Gruppe) und zu Erklärungen von Mitschüler:innen/ anderen Gruppen (in Abgrenzung zu K7a)	**„also wir ham aufgeschrieben C h a n c e ist wenn man gewinnen kann und verlieren kann\“ (TF_2Z_4K_3S, Z.39-140)**
	K 9	Verwendung von Fachsprache	Verwendung von fachspezifischen Begriffsbezeichnungen oder Phrasen (auch ohne Satzkontext möglich)	„Ja wir ham . ä h h u und noch dass er eine Symmetrieachse hat“ (TV_2Z_4K_3S, Z.33-34)
	K 10	Begriffsverständnis	Elemente von Begriffsinhalt, -umfang, oder -netz bzw. Anwendung des Begriffs (Weigand, 2009) (in Abgrenzung zu K6 und K2)	„Des Quadrat hat ä h h vier . (*ein Mäppchen fällt ihr aus der Hand auf den Boden)* vier rechte Winkel/ u n d vier Symmetrieachsen\“ (TV_2Z_4K_1S, Z.350-352)
HK3 Mediendidaktische Aspekte	K 11	Medienkompetenz	Elemente der Medienkompetenz nach Baacke (1996): insb. Mediennutzung und Medienkritik	„Ich hör/ nochmal die acht\ da da das du/ ganz sicher alles schreibst\“ (TF_2Z_4K_PA1_NT, Z.275-276)
	K 12	Hörverstehen (in Bezug auf das auditive Medium)	Verarbeiten und Verstehen von (Hör-) Texten als Prozess der Informationsverarbeitung; Stufen des Hörverstehens (nach Neuf-Münkel, 1988; Nebe-Ribaki, 1994): insb.: globales, selektives, selegierendes und detailliertes Hörverstehen (in Abgrenzung von K8a)	„Also die Kinder ham halt herausgefunden\ das ehm- das es doch wahrscheinlicher ist dass die Straße gewürfelt wird weil in der Tabelle zehn mal Straße war und nur sechs mal Pasch\“ (TF_2Z_4K_2S, Z.610-613)

A4: Auszug aus dem Forscherheft

Das Rechteck



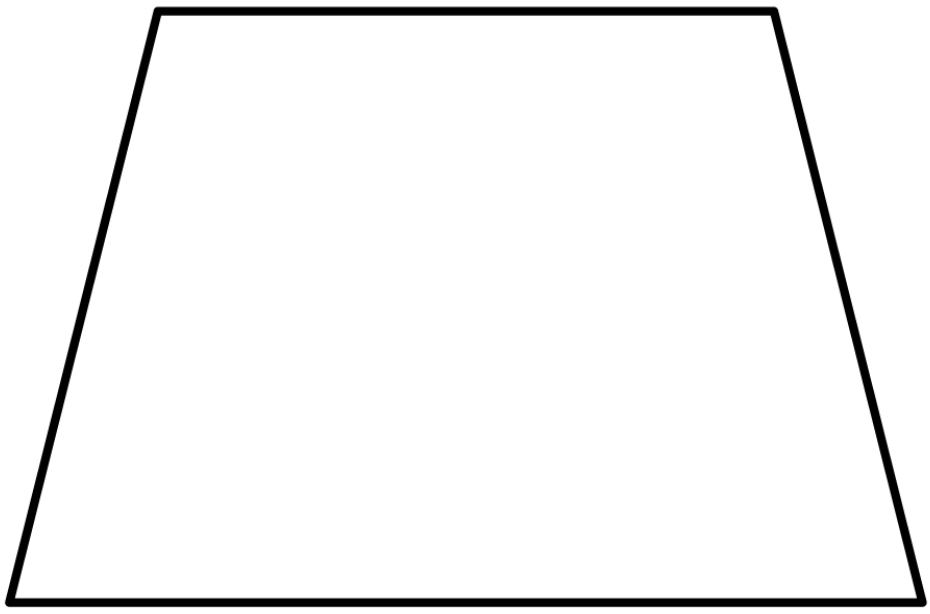
Höre dem Radiobeitrag gut zu und fülle dabei den Steckbrief für das Rechteck aus.

Besondere Eigenschaften	
Unterschiede zum Quadrat	
aussehen	

A5: Beispielhafter Forscherauftrag

Arbeitsauftrag – Steckbrief

- Hört euch den Radiobeitrag zum Trapez auf dem Tablet an.
- Notiert euch die Besonderheiten des Trapezes im Forscherheft.
- Untersucht euer Viereck auf die verschiedenen Merkmale und tragt eure Ergebnisse unten in euer Forscherheft ein.
- Gestaltet einen Steckbrief für das Trapez auf eurem Plakat.



Zum Ausschneiden, Falten und Einzeichnen der Merkmale. Am Ende bitte auch mit auf das Plakat kleben.

A6: Übersicht über die genutzten Audio-Sequenzen

Im Sinne des Segmenting Principles (Mayer & Pilegard, 2014) und der didaktischen Reduktion wurden die Radiosendungen für die Lernumgebungen in kürzere Sequenzen geschnitten, die einzeln an verschiedenen Stellen der Lernumgebung und mit jeweils einem Hörauftrag zur Unterstützung der Verarbeitung der auditiven Information dargeboten wurden.

Wann ist ein Spiel fair?

Beitrag 1 (0:00-1:48 min): Vorstellung des Würfelspiels zur Ermittlung eines Siegers
Beitrag 2 (1:48-2:18 min): Erproben des Spiels und Vermutungen zur Fairness
Beitrag 3 2:18-3:28 min): Zusammenführen der Ergebnisse zu einer größeren Stichprobe
Beitrag 4 (4:18 – 4:41 min.): Zufall vs. Hypothese, die Straße hätte höhere Gewinnchancen
Beitrag 5 (4:41 – 5:14 min.): Gegenteilige Theorie, der Pasch hätte höhere Gewinnchancen
Beitrag 6 (6:01 – 7:33 min.): alle vs. günstige Kombinationsmöglichkeiten notieren
Beitrag 7 (7:33 – 8:24 min.): Ableiten von Erkenntnissen aus der erstellten Tabelle
Beitrag 8: (8:24 – 10:02 min.): Überprüfen der Ergebnisse
Beitrag 9: (10:03 – 11:36 min.): Überprüfen eines alternativen Würfelspiels

Wer wohnt im Haus der Vierecke?

Beitrag 1 (0.00-2.30 min): Abgrenzung von geometrischen Körpern und ebenen Figuren
Beitrag 2 (4.26-5.44 min): Einführung zu den Vierecken (konvex und konkav)
Beitrag 3 (5.45-6.09 min): Einführung Haus der Vierecke
Beitrag 4 (6.10- 7.15 min): Untersuchungen zum Quadrat
Beitrag 5 (8.05-9.12): Untersuchungen zur Raute
Beitrag 6 (9.13-9.51 min): Untersuchungen zum Rechteck
Beitrag 7 (O-Ton ‚Drache'[29]): Untersuchungen zum Drachen
Beitrag 8 (O-Ton ‚Parallelogramm'): Untersuchungen zum Parallelogramm
Beitrag 9 (O-Ton ‚Trapez'): Untersuchungen zum Trapez
Beitrag 10 (9.50-11.21 min): Beschreibung der Anordnung im ‚Haus der Vierecke'

[29] Nicht alle Viereckstypen werden ausgiebig in der Sendung besprochen. Aus diesem Grund wird hier das zusätzliche Audio-Material hinzugezogen (https://www.kinderfunkkolleg-mathematik.de/themen/wer-wohnt-im-haus-der-vierecke/o-tone-anhoren).

A7: Transkribiertes Manuskript der Sendung ‚Wann ist ein Spiel fair?'

z	Sprecher:in	Äußerung
1	Intro / Jingle	Punkt, Komma, Strich. Das Kinderfunkkolleg Mathematik
2 3 4	Zwei Kinderstimmen	*(durcheinander; Dabei Musik und sprechende Kinder leise im Hintergrund)* Ich kehr nicht auf. Ich hab die letzten Male.
5 6 7 8	Sprecherin	*(Musik im Hintergrund)* Franka und Nils gehen beide in die 6. Klasse. Normalerweise verstehen sich die beiden gut. Aber gerade haben sie sich ganz schön in den Haaren.
9 10 11	Franka	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Ich ich kehr auf gar keinen Fall auf, ich hab die letzten Male aufgekehrt.
12 13	Nils	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Ja, ich aber davor!
14 15	Franka	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Ich kehr nicht auf. Ich ich hab die letzten Male.
16 17 18	Nils	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Ich kehr auch nicht auf. Warum sollte ich das machen? Ich war die letzten Male.
19 20	Franka	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Ja, aber.. Ja, klar. Wer's glaubt wird selig.
21 22 23 24 25	Sprecherin	Franka und Nils stehen im Klassenraum der 6d im Albert-Schweitzer-Gymnasium in Hürth, vor ihnen auf dem sonst sauberen Klassenboden: Spitzerreste. Schön verteilt. Da ist wohl jemand der Dosenspitzer runtergefallen. Nils und Franka sollen das nun in Ordnung bringen – und sie sind gar nicht begeistert.
26 27	Franka	Ich hab die letzten Male aufgekehrt. Ich war immer voll lang hier!
28	Nils	*(Ironisch)* mhm.
29	Franka	Mhm. Ja! Ja komm, lass drum spielen.
30	Nils	Was für'n Spiel denn?
31 32 33	Franka	Mein Bruder hat mir mal so'n Spiel beigebracht, man hat zwei Würfel, man würfelt und wenn ein Pasch drankommt, muss ich aufkehren, und wenn 'ne Straße, musst du aufkehren.
34 35 36 37 38 39 40 41 42	Sprecherin	*(Klangeffekt)* Ein Pasch – das ist, wenn beide Würfel die gleiche Augenzahl zeigen: *(Klangeffekt)* drei und drei, eins und eins oder vier und vier. *(Klangeffekt)*Eine Straße nennt man das Würfelergebnis, wenn die Anzahl der Augen *(Klangeffekt)* Zahlen zeigen, die aufeinander folgen: zwei und drei zum Beispiel, fünf und sechs, oder auch eins und zwei. Nils ist sich nicht ganz sicher, ob er sich auf das Spiel einlassen soll.
43	Nils	Ist das denn fair für mich?
44	Franka	Woher soll ich das wissen?
45	Sprecherin	Aber wie kann er rausfinden ob das Spiel fair ist?
46		*(Musik)*
47	Sprecherin	*(Musik im Hintergrund)*

48 49 50 51 52 53 54 55 56		Nils und Franka holen sich Unterstützung bei ihren Freunden, Alina und Laurenz. Alle vier gehen in die 6d. Sie wollen rausfinden, ob das Spiel fair ist, das Franka Nils vorgeschlagen hat. Und da sie vier Würfel haben, zwei weiße und zwei blaue, probieren sie es einfach aus. Sie spielen zu zweit gegeneinander und machen vorher aus, wer einen Punkt bei Pasch bekommt, und wer bei Straße. Dann würfeln sie so lange, bis einer von beiden fünf Punkte hat. Nils würfelt mit Laurenz.
57	Laurenz	Ich hätte gerne ähm Pasch.
58	Nils	Ich nehm‘ die Straße. Soll ich würfeln?
59	Laurenz	Ja.
60	Nils	Du hast Pasch, ich hab Straße.
61	Laurenz	Ja klar. *(Würfeln)*
62 63	Nils	Du hast nen‘ Zweierpasch, also kriegst du den ersten Punkt. *(Würfeln)*
64	Laurenz	Gut.
65	Nils	Okay. Jetzt ‘ne zwei und ‘ne fünf.
66	Laurenz	Also nix.
67	Nils	Ok, ich würfele nochmal. *(Würfeln)*
68 69 70 71	Sprecherin	Fünf zu drei steht es am Ende – für die Straße. Und für Nils, denn Nils hatte Straße gewählt. Auch Alina und Franke würfeln um die Wette. Pasch oder Straße – was fällt als erstes fünf Mal?
72	Franka	*(Würfeln)* Zwei fünf.
73 74 75 76	Alina	Das ist kein Punkt, weil da muss entweder beide Würfel gleich sein, oder einer muss einen Punkt mehr haben. *(Würfeln)* Jetzt sind zwei und fünf und da zwei und fünf geht nicht … *(Würfeln)*
77	Franka	Zwei und Zwei, jetzt hab‘ ich einen Punkt.
78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94	Sprecherin	Franka hat Pasch gewählt, und sie gewinnt das Spiel, am Ende steht es nämlich fünf zu vier für den Pasch. Also einmal gewinnt Straße, einmal gewinnt Pasch – scheint also fair zu sein. Aber – *(Klangeffekt)* ist das nicht vielleicht Zufall? *(Klangeffekt)* *(Musik im Hintergrund)* Sie spielen nochmal. Vorher wird aber getauscht – diesmal bekommt Laurenz einen Punkt, wenn eine Straße fällt, und Nils, wenn ein Pasch fällt. Und auch Franka und Alina tauschen. Wieder gewinnt Nils – diesmal mit Pasch. Ob man nun Pasch oder Straße nimmt, das scheint keinen großen Unterschied zu machen. Bei den Mädchen ist das nicht anders gelaufen, erzählt Alina.
95 96 97	Alina	Bei uns war das eigentlich ganz lustig, weil die Franka die hat in beiden Spielen gewonnen. Also beim Pasch hatte sie fünf zu vier, also als sie den Pasch getippt hat und als sie die Straße

98		getippt hat, hat sie wieder gewonnen mit fünf zu vier.
99 100 101 102 103 104 105 106	Sprecherin	*(Klänge im Hintergrund)* Also sieht es so aus, als sei das Spiel fair: Vier mal wurde gespielt – zweimal hat Pasch gewonnen, zweimal hat Straße gewonnen. Aber irgendwie sind die vier nicht überzeugt. *(Klangeffekt)* Das könnte ja trotzdem noch Zufall sein, dass es bei ihren vier Spielen so ausgegangen ist. *(Klangeffekt)* Nils glaubt, dass es wahrscheinlicher ist, dass man eine Straße würfelt.
107 108	Nils	Weil ich find, dass is ‘ne höhere Wahrscheinlichkeit, dass zwei unterschiedliche Zahlen rauskommen als eine gleiche Zahl.
109 110 111 112 113	Sprecherin:	Auch Franka und Alina glauben nicht, dass die Chance, dass man einen Pasch würfelt, und die Chance, dass man eine Straße würfelt, gleich hoch sind. Aber sie glauben, dass es sich mit der Wahrscheinlichkeit genau andersherum verhält, als Nils es vermutet.
114 115 116 117 118	Franka	Wir haben uns überlegt, dass s‘ eigentlich wahrscheinlicher ist, dass man einen Pasch würfelt, weil es sechs Möglichkeiten gibt und bei der Straße fünf Möglichkeiten, aber ich habe trotzdem bei der Straße gewonnen, deswegen waren wir uns da auch nicht mehr so sicher.
119 120 121	Sprecherin	Mh. Und jetzt? *(Würfeln)* *(Klangeffekt)* Man könnte 1000-mal würfeln, dann würde man auch sehen, welches Ergebnis häufiger ist.
122		*(Würfeln)*
123	Sprecherin	*(Klangeffekt)* Oder 2000-mal.
124		*(Klangeffekt; Würfeln)*
125	Sprecherin	Oder am besten 10 000 Mal. *(Klangeffekt)*
126		*(Würfeln)*
127 128 129 130 131 132 133 134	Sprecherin	*(Klangeffekt)* dann würde man sehr klar sehen, wofür die Wahrscheinlichkeit höher ist, für Pasch oder für Straße, oder ob beide Würfelergebnisse gleich wahrscheinlich sind. Aber 10000 Mal würfeln? *(Musik im Hintergrund)* Das würde ganz schön lange dauern, bis Nils weiß, ob er dieses Spiel mit Franka spielen soll. Und bis die beiden wissen, wer die Spitzerreste aufkehren muss.
135 136 137 138 139 140	Sprecherin	Alina und Nils, Laurenz und Franka haben die Vermutung, dass man auch auf eine andere Art und Weise herausfinden kann, ob Pasch oder Straße gleich wahrscheinlich sind, oder nicht. Und sie meinen, dass das mit Mathematik zu tun hat. Deswegen fragen sie ihren Mathelehrer, Frank Hartlieb. Der sagt.
141 142 143	Frank Hartlieb	Also ihr habt genau die richtigen Ideen, wir müssen uns angucken, wie viele Möglichkeiten gibt es für den Pasch und für die Straße.
144		*(Musik)*
145 146 147	Sprecherin	*(Musik im Hintergrund)* Frank Hartlieb, der Mathelehrer, hat ein Blatt mit einer Tabelle gemalt. Vier Spalten nebeneinander, ganz viele Zeilen

148 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162		untereinander. Über der ganz linken Spalte steht: „Blauer Würfel“. Über der Spalte daneben steht: „Weißer Würfel“. Hier tragen Alina und Franka jetzt alle möglichen Kombinationen ein, die man bei einem Wurf würfeln kann. Der Reihe nach. Damit man keine Kombination vergisst. Zum Beispiel: Der blaue Würfel zeigt eine Eins, und auch der weiße Würfel zeigt eine Eins. Darunter: Der blaue Würfel wieder eins, der weiße Würfel zeigt eine Zwei. Dann blau: eins, weiß: drei. Wenn der weiße Würfel bei der Sechs angekommen ist, geht es beim blauen Würfel mit der Zwei weiter. In der siebten Zeile steht also beim blauen Würfel eine Zwei und beim weißen eine Eins. Dann folgt zwei, zwei; zwei, drei; zwei, vier und so weiter. Bis man schließlich bei sechs, sechs unten angekommen ist.
163 164 165	Kind	*(Zählt leise)* eins, zwei, drei, vier, fünf, sechs, sieben, acht, neun, zehn, elf, zwölf, dreizehn, vierzehn, fünfzehn, sechszehn, siebzehn, achtzehn, neunzehn, zwanzig
166 167	Sprecherin	*(Kind zählt dabei leise, unverständlich weiter)* Wie viele Zeilen sind das am Schluss?
168	Nils	36, oder?
169 170	Franka	Ja, weil das ist immer sechs und das sind sechs. Das sind sechs mal sechs sind 36.
171 172 173 174 175 176 177 178 179 180	Sprecherin	*(Klangeffekt)* 36 mögliche Ergebnisse hat man also bei einem Wurf. *(Klangeffekt)* Die ersten beiden Spalten sind jetzt ausgefüllt. Daneben gibt aber es noch zwei Spalten: über der einen steht „Pasch“, und über der anderen steht „Straße“. Ganz klar: Wenn das Ergebnis ein Pasch ist, dann machen die Kinder ein Kreuz in der Pasch-Spalte. Wenn das Ergebnis eine Straße ist, machen sie in der anderen Spalte ein Kreuz. Wenn es weder Straße, noch Pasch ist – zum Beispiel „fünf“, „drei“ – machen sie gar kein Kreuz.
181	Alina	*(Musik im Hintergrund)* Wir hatten Unrecht! Wir gebens‘ zu!
182 183 184 185 186 187 188	Sprecherin	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Alina und Franka hatten vermutet, dass es dafür, dass beim Wurf eine Straße fällt, fünf Möglichkeiten gibt, für einen Pasch aber sechs. Und dass es deswegen wahrscheinlicher ist, dass man einen Pasch würfelt. Aber als sie in der Tabelle alle Möglichkeiten aufgeschrieben haben, haben sie gesehen, dass sie vorher ein paar Möglichkeiten für Straße vergessen hatten.
189 190 191	Franka	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Wir haben jetzt raus, also es gibt sechsmal Pasch in der Tabelle und zehnmal Straße.
192 193 194	Alina	*(Weiterhin Musik im Hintergrund)* Und es gibt doch Möglichkeiten, eine Straße zu würfeln als einen Pasch. *(Würfeln)*
195 196	Sprecherin	*(Klangeffekt)* Fair würde man das Spiel damit dann wohl kaum nennen, meint Alina.
197 198	Alina	Ein Mathematiker würde ein Glücksspiel als fair bezeichnen, wenn beide Spieler gleich viele Möglichkeiten hätten. Bei

199 200 201		diesem Spiel was wir gespielt haben, hat der, der Straße getippt hat eigentlich mehr Chancen, deshalb ist das Spiel eigentlich unfair – weil er mehr Chancen hat.
202		*(Musik)*
203 204 205	Sprecherin	*(Musik im Hintergrund)* Und wie war das nun mit dem Aufkehren? Was hatte Franka dem Nils nochmal vorgeschlagen, wann sollte wer von ihnen kehren?
206 207 208	Franka	*(Mit viel Hall unterlegt, wie eine Erinnerung)* Man hat zwei Würfel, und wenn ein Pasch drankommt, muss ich aufkehren, und wenn eine Straße drankommt, musst du aufkehren.
209 210 211 212 213	Sprecherin	Das wäre für Franka auf jeden Fall besser gewesen als für Nils. Denn die Wahrscheinlichkeit, dass eine Straße fällt, und damit Nils kehren muss, ist um einiges höher. Kein Wunder, dass Nils das Spiel lieber nicht spielen will! Aber Laurenz hat eine Idee.
214 215 216 217	Laurenz	Ich hab‘ auch noch n Spiel, und wenn ihr das nehmt, das ist auch wirklich fair und das hat nur mit Glück zu tun – und ja, das ist mit den Zahlen vier und zehn. Und dann müsst ihr gegeneinander würfeln.
218 219 220 221 222 223 224	Sprecherin	*(Klänge im Hintergrund)* Laurenz erklärt: Die eine Person gewinnt, wenn die beiden Würfel die Augensumme 4 zeigen, die andere Person gewinnt, wenn die Augensumme 10 ergibt. *(Klangeffekt)* Franka und Nils gucken skeptisch. Aber Laurenz hat geprüft ob das Spiel fair ist. Ob es wahrscheinlicher ist, dass die Augensumme 4 fällt oder dass die Augensumme 10 fällt. Und?
225 226 227 228	Laurenz	Es ist genau gleich wahrscheinlich, denn bei der 4 gibt es drei Möglichkeiten, nämlich zwei und zwei, eins und drei und drei und eins und bei der 10 gibt es sechs und vier, vier und sechs und fünf und fünf.
229	Sprecherin	Und das bedeutet?
230	Laurenz	Dass beide die gleichen Chancen haben im Prinzip.
231		(Musik)
232 233 234	Sprecherin	*(Musik im Hintergrund)* Dann entscheidet nur das Glück, wer kehren muss, Franka oder Nils.
235		*(Musik, dabei Geräusche vom Kehren und leises Gelächter)*

A8: Transkribiertes Manuskript der Sendung ‚Wer wohnt im Haus der Vierecke?'

z	Sprecher:in	Äußerung
1	Intro / Jingle	Punkt, Komma, Strich. Das Kinderfunkkolleg Mathematik
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	verschiedene Kinderstimmen	Eine Pusteblume ist rund wie 'ne Kugel; *(dabei leise Musik im Hintergrund)* Ein Fußball ist rund wie eine Kugel; Also der Vollmond ist auch rund wie eine Kugel; Ein Partyhütchen ist so wie ein Kegel; Eine Maisdose ist so wie ein Zylinder; Ein Dreieck ist so wie ein Dach; Ein Dreieck ist auch so en' Verkehrsschild; Viereckig ist unsere Tafel; Ein Blatt ist viereckig; Unser Lesebuch ist viereckig.
13 14 15 16 17	Sprecherin	*(Weiterhin leise Musik im Hintergrund)* Die Kinder der Klasse 4a der Integrierten Gesamtschule Eschersheim aus Frankfurt wissen: Es gibt viele verschiedene Formen und Figuren auf der Welt. Auch der Planet, auf dem wir leben, hat eine solche Form.
18 19	Kind	*(Weiterhin leise Musik)* Die Erde ist rund wie eine Kugel.
20 21 22 23 24	Sprecherin	*(Zu Beginn leise Musik im Hintergrund)* Wir sprechen auch von der Erdkugel oder Weltkugel. *(Klangeffekt)* Die Kugel gehört in der Mathematik zu den geometrischen Körpern. Wirft die Kugel einen Schatten, dann ist der Schatten kein Körper, sondern eine Fläche.
25 26 27 28 29	verschiedene Kinderstimmen	Das ist dann ein Kreis; Der ist rund wie 'ne Kugel, aber ganz platt; Die Kugel kann man von allen Seiten anfassen und sie ist dreidimensional und der Kreis, der ist nur so hingemalt; Wie 'ne Fläche.
30 31 32 33	Sprecherin	Dreidimensionale oder räumliche Figuren nennen die Mathematiker auch *(Klangeffekt)* Körper. Sie sind etwas anderes als *(Klangeffekt)* Flächen oder ebene Figuren, betont Mathematikprofessor Christof Schreiber von der Uni Gießen.
34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44	Prof. Dr. Christof Schreiber	Die ebenen Figuren, das ist das, was ich auf Papier zeichne, dann spreche ich von 'ner ebenen Figur. Alles, was ich sozusagen in die Hand nehmen kann, das ist 'en Körper, also wenn wir hier die Tischplatte nehmen, dann kann ich nicht sagen oh das ist ein Rechteck. Nein, die Tischplatte oder viele Tischplatten sind Quader. Auch ein Blatt Papier, das ist ein Körper, das ist ein Quader das Blatt Papier, Natürlich kann ich auch mal da drüber so sprechen als sei's ein Rechteck, aber im Prinzip ist das Blatt Papier schon ein Körper. Aber die Begrenzungsflächen der geometrischen Körper, das sind dann eben auch wieder ebene Figuren.
45 46 47	Sprecherin	Die bekanntesten ebenen Figuren sind neben dem Kreis vor allem noch das Dreieck und das Viereck. Natürlich gibt es auch Fünfecke, Sechsecke, Siebenecke und so weiter. Sie alle gehören

48		zu den geometrischen Flächen.
49 50 51 52	Prof. Dr. Christof Schreiber	Geometrie ist ein griechisches Wort und bedeutet Landvermessung. So kann man bestimmte Dinge vermessen oder Dinge beschreiben. Ebene Figuren beschreiben oder räumliche Körper beschreiben, und eben auch ausmessen.
53 54 55	Sprecherin	Ihren Ursprung hat die Geometrie vor circa drei- bis viertausend Jahren in Ägypten, sagt Albrecht Beutelspacher. Er ist der Direktor des Mathematikums in Gießen.
56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67	Prof. Dr. Albrecht Beutelspacher	Und zwar deswegen, weil man sich in gewisser Weise gegen Willkür oder gegen unvorhersehbare Situationen schützen wollte. Ganz konkret: In Ägypten hat der Nil jährlich das Land überschwemmt. Das war gut, weil nur so Wasser in die Erde kam und Früchte wachsen konnten. Aber anschließend waren sämtliche Begrenzungen der Landteile weggeschwemmt. Und man musste wieder gucken, dass man das gleiche Stück Land oder jedenfalls ein genauso großes Stück Land bekommt. Und dazu wurde Geometrie entwickelt, dass man da einen gerechten Ausgleich hat, dass sich keiner übervorteilt fühlt, sondern dass jeder zu seinem Stück Land wieder kommt.
68 69 70	Sprecherin	Geometrie hat also einen ganz praktischen Ursprung. Vierecke und Dreiecke sind dabei besonders nützlich, sagt Christof Schreiber.
71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	Prof. Dr. Christof Schreiber	Vierecke sind praktisch, weil man damit zum Beispiel ‘ne ganze Fläche auslegen kann, also man spricht vom Parkettieren, man kann sozusagen so ‘ne Art Parkett machen mit Vierecken. Das geht bei Vierecken besonders gut, also ich nehm‘ irgendein beliebiges Viereck, wenn ich das tausendmal habe, dann kann ich ‘ne riesengroße Fläche auslegen, ohne dass ‘ne Lücke bleibt. Das geht übrigens beim Dreieck auch. Es geht aber nicht beim Fünfeck und geht auch nicht bei jedem Sechseck, das funktioniert natürlich überhaupt nicht beim Kreis, also das geht nie mit Kreisen.
81 82 83 84 85 86	Sprecherin	Ein Kreis ist ein Kreis, mal größer, mal kleiner, aber immer nennen wir ihn Kreis. Auch ein Dreieck nennen wir immer Dreieck, ob klein oder groß, spitz oder breit, schief oder gleichmäßig. Aber Achtung: *(Klangeffekt)* Viereck ist nicht gleich Viereck für die verschiedenen Vierecke gibt es auch unterschiedliche Bezeichnungen.
87 88 89	Prof. Dr. Christof Schreiber	Es gibt Vierecke, die wir sehr gut kennen, die nennen wir eigentlich konvexe Vierecke. Konvexe Vierecke sind Vierecke, bei denen die Ecken immer nach außen zeigen.
90 91 92	verschiedene Kinderstimmen	Zum Beispiel Quadrate; oder Rechtecke; oder zum Beispiel das Parallelogramm.
93 94 95 96	Prof. Dr. Christof Schreiber	Es gibt dann auch noch die konkaven Vierecke, die sehen wir viel, viel seltener. Ein konkaves Viereck – das können wir uns so vorstellen wie einen Boomerang, da ist eine Ecke so nach innen gedrückt, wie nach innen geboxt.
97	verschiedene	Das sieht so aus wie ein Navigationspfeil, so dick wie von einem

98 99	Kinderstimmen	Kompass der Pfeil; Ein bisschen wie ein eckiges Herz.
100 101 102 103	Sprecherin	Am bekanntesten sind aber die konvexen Vierecke, bei denen die Ecken nach außen zeigen. Doch auch bei diesen Vierecken ist nicht jedes Viereck gleich! Auch wenn sie alle vier Seiten haben und vier Ecken, die nach außen zeigen.
104		*(Musik)*
105 106 107 108 109 110 111		Um sich die verschiedenen konvexen Vierecke besser vor Augen halten zu können und zu verstehen, was sie voneinander unterscheidet, aber auch, wie sie miteinander verwandt sind, haben die Mathematiker sie in ein Haus gepackt: in das „Haus der Vierecke“. Bei Matheprofessor Christof Schreiber wohnt das wichtigste Viereck ganz oben.
112 113 114	verschiedene Kinderstimmen	Ich glaube das Quadrat; Das ist irgendwie das erste, an was man denkt, wenn man Vierecke hört.
115	Sprecherin	Das Quadrat ist die Königin der Vierecke.
116 117 118	Prof. Dr. Christof Schreiber	*(Klangeffekt)* Das wichtigste am Quadrat ist: Das Quadrat hat vier gleichlange Seiten und hat auch vier rechte Winkel. Das Quadrat hat außerdem auch vier Symmetrieachsen.
119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130	verschiedene Kinderstimmen	Wenn man da einen Strich durch die Mitte macht und man das dann bei diesem Strich faltet, und wenn dann Ecken auf Ecken liegen, dann ist das ‘ne Symmetrieachse. Wir nennen das auch Spiegelachse, weil dann erhält man zwei gleiche Hälften; Also man kann das Quadrat einmal in der Mitte falten und dann nochmal in der Mitte falten und dann ist es ja immer noch ein Quadrat; Man kann das auch von einer Ecke oben, also oben recht bis zur Ecke unten links einen Strich zeichnen und dann falten, dann hat man rechts und links zwei gleiche Hälften; Es ist egal, wie rum man das Quadrat dreht, es sieht immer gleich aus.
131 132	Sprecherin	Das gelingt bei keinem anderen Viereck. Deshalb ist das Quadrat so besonders.
133 134 135 136 137	verschiedene Kinderstimmen	In der Klasse findet man viele Quadrate. Zum Beispiel eine Tafelhälfte oder auch ein Notizzettel; Meine Brotbox ist quadratisch; Ein Lichtschalter, der ist quadratisch; Im Matheheft die Mathekästchen sind quadratisch.
138 139 140 141 142 143 144 145 146 147	Sprecherin	Das Quadrat ist das gleichmäßigste, das symmetrischste Viereck. Ein Würfel, wie wir ihn zum Beispiel beim Mensch-ärgere-dich-nicht-Spielen benutzen, hat sechs quadratische Seiten. Weil er so gleichmäßig ist, haben alle Seiten die gleiche Chance, beim Würfeln nach oben zu zeigen. *(Musik, die auch weiter im Hintergrund läuft)* Aber nicht nur all das macht das Quadrat so besonders. Es ist außerdem das einzige konvexe Viereck, das die Merkmale aller anderen konvexen Vierecke in sich vereint. Zu den engsten Verwandten des Quadrats im „Haus der Vierecke“ gehören das *(zusätzlicher Klangeffekt)* Rechteck und die

148 149		*(zusätzlicher Klangeffekt)* Raute. Die wohnen direkt unter dem Quadrat.
150 151 152 153 154 155 156 157 158	Prof. Dr. Christof Schreiber	Das wichtige an der Raute ist: Alle vier Seiten sind gleich lang. Das ist genauso wie beim Quadrat, alle vier Seiten sind gleich lang. Aber die Winkel müssen keine rechten Winkel sein. Und wenn ich mir jetzt so ein Viereck zeichne, bei dem alle vier Seiten gleichlang sind, aber die Winkel nicht rechte Winkel sein müssen, dann hab‘ ich ‘ne Raute. Und die Raute hat wieder eine Besonderheit, nämlich zwei Symmetrieachsen. Die zwei Symmetrieachsen gehen jeweils durch die gegenüberliegenden Ecken.
159 160 161 162	verschiedene Kinderstimmen	Man hat dann wie zwei Dreiecke; Also, wenn man zwei Dreiecke zusammenlegt, dann könnte man auch eine Raute machen; Ja, aber es müssen zwei gleichgroße Dreiecke sein.
163 164 165 166	Sprecherin	Die Raute – man kann auch Karo sagen – hat also wie das Quadrat vier gleich lange Seiten, sei muss aber keine rechten Winkel haben und hat deshalb auch nur Symmetrie- oder Spiegelachsen. Beim Rechteckt ist es gerade anders herum.
167 168 169 170 171 172 173	Prof. Dr. Christof Schreiber	Das Rechteckt heißt so, weil es vier rechte Winkel hat. Das ist wieder so wie beim Quadrat. Aber es muss nicht vier gleich lange Seiten haben. Beim Rechteckt sind, dadurch dass es vier rechte Winkle hat, automatische die gegenüberliegenden Seiten immer gleichlang. Das heißt wir haben zwei längere und zwei kürzere Seiten und vier rechte Winkel. Und diese Figur nennen wir Rechteck.
174 175 176	Sprecherin	Das Rechteck hat – wie die Raute – auch nur zwei Spiegel- beziehungsweise Symmetrieachsen. Die eine Achse teil das Rechteck waagerecht in der Mitte, die andere senkrecht.
177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188	Prof. Dr. Christof Schreiber	Jetzt sieht man natürlich schon Folgendes, so wie die hier wohnen: Das Quadrat wohnt ja ganz oben und das Rechteck darunter: Das Quadrat ist auch ein Rechteck, aber ein besonderes, denn es hat auch wie das Rechteck vier rechte Winkel und die gegenüberliegenden Seiten sind gleichlang. Das Quadrat ist übrigens auch ‘ne Raute, aber ‘ne besondere, es hat nämlich vier gleichlange Seiten und außerdem hat es noch vier rechte Winkel. Das ist das, was das Haus der Vierecke auch darstellen soll. Wir können immer von unten nach oben laufen und sagen: Hier oben wohnt doch auch ein besonderes Rechteck, nämlich das Quadrat, oder hier oben wohnt ‘ne besondere eine besondere Raute, nämlich das Quadrat.
189 190 191 192 193 194 195	Sprecherin	*(dabei Musik im Hintergrund)* Und so sind auch die anderen bekannten Vierecke – der Drachen, das Parallelogramm und das Trapez – mit dem Rechteck und der Raute eng verwandt und stecken gleichzeitig auch im Quadrat drin. Auch wenn sie keine rechten Winkel mehr haben und nur noch eine Spiegelachse – oder sogar gar keine, wie das Parallelogramm.
196 197	verschiedene Kinderstimmen	Bei dem Parallelogramm sind die gegenüberliegenden Seiten parallel;

198 199		Es sieht aus wie ein Rechteck, nur wie ein Rechteck, das zur Seite kippt, weil's lauter schiefe Ecken hat.
200 201 202 203 204 205 206 207 208 209	Sprecherin	*(Dabei Musik im Hintergrund)* Das Rechteck ist also auch ein Parallelogramm, aber ein besonderes, weil es eben rechte – und nicht schiefe – Winkel hat. Und das Quadrat ist auch ein Parallelogramm, aber ein ganz besonderes, das zusätzlich zu den rechten Winkeln des Rechtecks außerdem noch vier gleichlange Seiten hat. *(spielende Kinder leise im Hintergrund)* Wenn man die Namen für die verschiedenen Formen des Vierecks kennt, kann das im Alltag sehr hilfreich sein, finden die Kinder der Klasse 4a der IGS Eschersheim.
210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222	verschiedene Kinderstimmen	*(weiterhin spielende Kinder leise im Hintergrund)* Zum Beispiel wenn man ein Haus baut, dann kann man sagen, dieses Fenster soll so wie eine Raute aussehen oder wie ein Quadrat oder wie ein Rechteck; *(Leise Musik im Hintergrund)* Mir ist es schon mal passiert, dass meine Mama Wurst kaufen wollte, und es gab solche runden Scheiben von Wurst und es gab auch solche rechteckigen Scheiben Wurst, und dann hab ich meiner Mama gesagt, ich hätte gerne diese runde Wurst, weil ich nicht wusste wie die heißt; Man braucht die Form auch, wenn man Anziehsachen kauft, wo Muster drauf sind, da kann man sagen, dass man das mit dem Karo möchte, da kann man das auch brauchen.

A9: Gesamte Transkription der Datenerhebung

Veröffentlicht unter:
http://dx.doi.org/10.22029/jlupub-18073