

Selbstregulationsprozesse bei der Bearbeitung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung zur Mechanik

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades

– Dr. rer. nat. –

am Fachbereich 07

(Mathematik und Informatik, Physik, Geografie)

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Jonas Gabi

Institut für Didaktik der Physik

Juli 2023

Erstgutachterin: Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter

Zweitgutachter: Prof. Dr. Andreas Vorholzer

Prüferin: Prof. Dr. Claudia Höhne

Prüfer: Prof. Dr. Alexander Eitel

Tag der Disputation: 30.10.2023

Abstract

Every year, a considerable number of first-year students in natural sciences drop out of their studies. One reason for early drop-out are problems of fit between requirements and prior knowledge. Although universities offer supplementary courses to help students to improve their knowledge, they place high demands on self-regulation. Persistent processing usually only succeeds for highly interested and high-achieving first-year students. Teaching formats typical for the natural sciences, such as the task-based design of instructions, further increase the demands on self-regulation. Research reported aims at identifying a connection between the dispositional characteristics of first-year students, their self-regulated processing in an open, task-based, and digitally implemented learning environment and the learning success associated with the processing. For this purpose, such a learning environment was developed and programmed. Of $N = 55$ first-year students, some dispositional characteristics (including interest), their subject knowledge before and after processing the learning environment were recorded, as well as their activities within the environment (employing so called Log-files). Using correlation, regression, and cluster analyses as well as process mining techniques, connections between dispositions, subject knowledge, and processes were explored. It turns out (1) that the learners' prior knowledge is a significant predictor of learning success, (2) that learning success cannot be linked to typical processing patterns and (3) that the potential of open and task-based learning environments is hardly exploited by primary linear processing.

Zusammenfassung

Jährlich bricht ein erheblicher Teil an Studienanfängerinnen und Studienanfängern naturwissenschaftlicher Studiengänge das Studium ab. Einer der Gründe für den frühzeitigen Abbruch sind Passungsprobleme zwischen Anforderungen und Vorwissen. Zusatzangebote zur Aufarbeitung des Wissens werden zwar von Universitäten angeboten, stellen jedoch hohe Anforderungen an die Selbstregulation. Eine persistente Bearbeitung gelingt meist nur hochinteressierten und leistungsstarken Studienanfängerinnen und Studienanfängern. Für die Naturwissenschaften typische Lehrformate wie die aufgabenbasierte Gestaltung von Instruktionen, erhöhen die Anforderungen an die Selbstregulation weiter. Das Ziel des in dieser Arbeit berichteten Forschungsvorhabens ist es, eine Verbindung zwischen den dispositionellen Ausprägungen von Studienanfängerinnen und Studienanfängern, deren selbstregulierten Bearbeitungsprozessen in einer offenen, aufgabenbasierten und digital implementierten Lernumgebung und dem mit der Bearbeitung zusammenhängen Lernerfolg zu identifizieren. Dafür wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine solche Lernumgebung entwickelt und programmiert. Von $N = 55$ Studienanfängerinnen und Studienanfängern wurden einige dispositionelle Ausprägungen (u. a. das Interesse), deren Fachwissen vor und nach der Bearbeitung der Lernumgebung erfasst sowie deren Bearbeitungsprozesse in s. g. Log-Files aufgenommen. Mittels Korrelations-, Regressions- und Clusteranalysen sowie Techniken des Process Mining wurde explorativ nach Verbindungen zwischen Dispositionen, Fachwissen und Prozessen gesucht. Es zeigt sich, (1) dass das Vorwissen der Lernenden ein wesentlicher Prädiktor für den Lernerfolg ist, (2) ein Lernerfolg mit keinen typischen Bearbeitungsmustern in Verbindung gebracht werden kann und (3) dass das Potential von offenen und aufgabenbasierten Lernumgebungen durch eine primäre lineare Bearbeitung kaum ausgeschöpft wird.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist Teil eines durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes (Projektnummer 453664454, VO 2255/1-1) zur Untersuchung von Prozessen der Selbstregulation im Übergang zwischen Schule und Hochschule.¹ Im Projekt werden drei Schwerpunkte gesetzt: Während im hier dokumentierten Vorhaben die Grundlagen für die Untersuchung der Prozesse der Selbstregulation gelegt werden (u. a. die Entwicklung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung und erste Explorationen sich einstellender Prozesse und Ergebnisse), werden in den Arbeiten von Kienitz (in Vorbereitung) und Weckler (in Vorbereitung) Prozesse der Selbstregulation aus einer pädagogisch-psychologischen und einer fachlichen Perspektive vertiefend untersucht. Eine genauere Einordnung der Arbeiten des Autors in das Gesamtprojekt wird sowohl innerhalb der theoretischen Grundlagen dieser Arbeit (Kapitel 2) als auch innerhalb der Beschreibung der Forschungsschwerpunkte (Kapitel 3) und der Zusammenfassung (Kapitel 7) gegeben. Teile der Arbeit, insbesondere Kapitel 1–3, greifen Überlegungen aus dem Projektantrag (Vorholzer et al., 2020) auf; in Abstimmung mit den Autorinnen und Autoren wurde darauf verzichtet, diese Übernahmen kenntlich zu machen.

¹ Projektleitung Didaktik der Physik: Prof. Dr. Andreas Vorholzer; Projektleitung pädagogische Psychologie: Prof. Dr. Alexander Eitel; Mitwirkende: Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter und Prof. Dr. Joachim Stiensmeier-Pelster

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	13
2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung zum selbstregulierten Lernen	17
2.1 Modellierung des selbstregulierten Lernens	18
2.2 Lern- und Regulationsstrategien im Detail betrachtet	29
2.2.1 Lernstrategien	30
2.2.2 Regulationsstrategien.....	35
2.3 Zusammenfassung	37
2.4 Stand der Forschung zum selbstregulierten Lernen in digitalen Lernumgebungen	39
3 Forschungsfragen	47
4 Methoden.....	51
4.1 Befragungen und Tests	53
4.2 Digitale Lernumgebung	57
4.2.1 Aufbau, Strukturierung und Elemente der digitalen Lernumgebung	57
4.2.2 Methoden der Datenerfassung innerhalb der Lernumgebung	69
4.3 Ablauf der Datenerhebung	75
4.4 Stichprobe	77
5 Auswertung.....	79
5.1 Auswertung von Dispositionen und Lernerfolg	79
5.1.1 Rasch-Modellierung und Schätzung von Person-Measures	80
5.1.2 Statistische Analysen bzgl. der Dispositionen und des Lernerfolgs.....	83
5.2 Auswertung der Performanz.....	84
5.2.1 Prozessmerkmale.....	84
5.2.2 Prozessanalysen	86
5.3 Auswertung der Zusammenhänge zwischen Dispositionen, Performanz und Lernerfolg	89
6 Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse	93
6.1 Disposition und Lernerfolg.....	93
6.1.1 Dispositionen.....	93
6.1.2 Lernerfolg	105

6.1.3 Zusammenhang zwischen Dispositionen sowie zwischen Dispositionen und Lernerfolg	107
6.2 Performanz	114
6.2.1 Allgemeine Bearbeitung der Lernumgebung (Makro- und Mesoebene)	114
6.2.2 Linearität der Bearbeitung der Lernumgebung (Makroebene)	118
6.2.3 Bearbeitung einzelner Seiten der Lernumgebung (Meso- und Mikroebene)	126
6.3. Zusammenhänge zwischen Disposition, Performanz und Lernerfolg	134
6.3.1 Gruppenvergleich zu dispositionellen Unterschieden und Unterschieden im Lernerfolg	134
6.3.2 Dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg basierend auf den berechneten Prozessmerkmalen.....	144
7 Zusammenfassung und Ausblick	153
Literaturverzeichnis	161
Anhang	181
A: Lernumgebung	181
B: Werbemaßnahmen für den Vorkurs zur Mechanik	219
C: Lineplots.....	220
D: Streudiagramme	232
E: Korrelationstabellen	239
F: Regressionstabellen.....	243
Danksagung	247

Abkürzungsverzeichnis

ALZO	Annäherungsleistungszielorientierung
AV	Arbeitsvermeidung
CPM	Comparative Process Mining
DFG.....	Deutsche Forschungsgemeinschaft
FSK	Fähigkeitsselbstkonzept
LZO	Lernzielorientierung
oadL	offene, aufgabenbasierte, digitale Lernumgebung
SRL	selbstreguliertes Lernen
SW	Selbstwirksamkeit
SWK.....	Selbstwertkontingenz
VLZO.....	Vermeidungsleistungszielorientierung

1 Einleitung

An deutschen Hochschulen ergibt sich seit einigen Jahren die Herausforderung, dass von den Studienanfängerinnen und Studienanfängern (in 2020 ca. 57 % eines Altersjahrgangs; Statistisches Bundesamt, o. D.) ein relativ großer und tendenziell zunehmender Teil das Studium abbricht oder zumindest das Fach wechselt (in 2020 ca. 28 %; Heublein et al., 2022). Insbesondere in den Naturwissenschaften sind die Abbruchquoten vergleichsweise hoch (in 2020 ca. 50 %; Heublein et al., 2022). Fachspezifische Schwierigkeiten und Passungsprobleme zwischen den Studienanforderungen und dem Vorwissen der Studierenden werden dabei als zwei wesentliche Gründe angeführt (Herfter et al., 2015; Schiefele et al., 2007). Um diesen Problemen zu begegnen, bieten Universitäten eine Reihe von Zusatzangeboten für Studierende an, mit denen Inhalte des Studiums vor-, auf- oder nachbereitet werden können (Bausch et al., 2014). Im Rahmen der Digitalisierung der Lehre stehen Studierenden dafür neben konventionellen Zusatzangeboten, wie Vorkursen und Tutorien, zusätzlich eine Reihe an digitalen Angeboten zur Verfügung (Arnold et al., 2013; Eitel & Kornmann, 2014; Kleimann & Wannemacher, 2004), deren Anzahl sich insbesondere im Zuge der Coronapandemie vervielfacht hat (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021).

Digitale Lernangebote haben gegenüber von konventionellen Zusatzangeboten den Vorteil, dass Studierende die Inhalte zeitlich sowie örtlich flexibel bearbeiten und langfristig nutzen können (Arnold et al., 2013; Kleimann & Wannemacher, 2004). Darüber hinaus ermöglichen sie, dass Studierende ihrem individuellen Tempo entsprechend lernen und Lerninhalte passend zu ihrem Vorwissen auswählen können. Die Möglichkeiten der selbstbestimmten Auseinandersetzung von Studierenden mit Lerninhalten kommen dabei dem Bedürfnis nach Autonomie entgegen (Deci & Ryan, 2000). Zudem ist davon auszugehen, dass die Möglichkeit zur Individualisierung des Lernens mit positiven Emotionen und einer größeren Motivation einhergeht (vgl. Grieder, 2006; Tulis, 2010). Trotz dieser anzunehmenden Vorteile zeigen empirische Befunde, dass digitale Lernangebote oftmals nicht persistent bearbeitet werden oder die Bearbeitung nach kurzer Zeit ganz abgebrochen wird (vgl. Bawa, 2016; Kizilcec & Halawa, 2015; Levy, 2007). Im Allgemeinen liegen die Abbruchquoten der Bearbeitung digitaler Angebote bei 25–50 % (Levy, 2007), je nach Format des Angebots fallen diese z. T. sogar noch deutlich höher aus (z. T. Abbruchquoten von bis zu 90 %; Bawa, 2016; Jordan, 2015; Onah et al., 2014).

Selbst dann, wenn von vergleichsweise niedrigen Abbruchquoten berichtet wird, zeigt sich bei genauer Betrachtung, dass z. T. nur ein kleiner Teil der Studierenden tatsächlich in nennenswertem Umfang mit den digitalen Angeboten interagiert (vgl. Kizilcec & Halawa, 2015). Eine persistente Bearbeitung scheint vor allem hochinteressierten und leistungsstarken Lernenden zu gelingen (zsf. Boelens et al., 2017; Hoskins & van Hooff, 2005; Scheiter & Gerjets, 2007), die allerdings gerade bei kompensatorisch ausgerichteten Angeboten i. d. R. nicht die primären Adressaten sind. Als ein wesentlicher Grund für die hohen Abbruchquoten wird angenommen, dass es sich beim Lernen in und mit einem digitalen Lernangebot um einen Prozess handelt, der hohe Anforderungen an die Selbstregulation der Studierenden stellt (Gasevic et al., 2017; Greene et al., 2011; Kizilcec et al., 2017; Perels & Dörrenbächer, 2018; Schiefele et al., 2007; Wild, 2005; Winters et al., 2008), die insbesondere Studierende mit ungünstigen Lernvoraussetzungen nicht mitbringen (DiBenedetto & Zimmermann, 2010; Scheiter & Gerjets, 2007).

Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen sind für ein erfolgreiches Studium grundsätzlich relevant, denn „von den Studierenden an den Hochschulen wird in nahezu selbstverständlicher Weise erwartet, dass sie wesentliche Anteile ihres Studiums selbstständig und eigenverantwortlich gestalten und bewältigen“ (Wild, 2005, S. 191). Selbstreguliertes Lernen ist daher schon lange ein wesentliches Thema psychologischer und fachdidaktischer Forschung. Im Rahmen der Digitalisierung und der damit einhergehenden immer größer werdenden Möglichkeiten digitaler Angebote (bspw. Adaptive Learning Environments; zsf. Raj & Renumol, 2022; Gamification; zsf. Khaldi et al., 2023) nimmt die Relevanz der Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen stetig zu. So finden sich innerhalb dieser Angebote nicht mehr nur digital aufbereitete Texte, die in einer vorgegebenen Reihenfolge gelesen werden können (linear angelegte Lernumgebungen), vielmehr stehen den Studierenden eine Reihe an unterschiedlichen Inhalten sowie verschiedene Formate (bspw. Texte, Videos und Aufgaben) zur Verfügung, die ohne Vorgabe einer Reihenfolge gewählt werden können (offen angelegte Lernumgebungen). Insbesondere die Implementation von Aufgaben in digitale Lernangebote ist für das Lernen in den Naturwissenschaften von besonderer Relevanz. Vor dem Hintergrund einer konstruktivistischen Sicht wird der Bearbeitung von Aufgaben und Problemen in der Naturwissenschaft eine zentrale Bedeutung beim Lernen zugeschrieben. Sie fördert nicht nur die aktive Auseinandersetzung mit Lerninhalten, sondern kann auch genutzt werden, um Fähigkeiten des kritischen Denkens oder Problemlösens zu vermitteln (Fischer & Draxler, 2001; Kühn, 2011). Auch wenn sich eine aufgabenbasierte Gestaltung durchaus konventionellen Lernangeboten zuweisen lässt (z. B. in der Verbindung von instruktionalen

Texten und Aufgaben; siehe Lehrbücher bspw. Giancoli, 2010), findet sich diese bisher kaum unter den angebotenen digitalen Lernumgebungen. Nicht zuletzt daher liegen bisher kaum Erkenntnisse zum selbstregulierten Lernen in offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebungen vor. An diesem Punkt setzt das hier beschriebene Forschungsprojekt an, dessen Ziel es ist, Prozesse des selbstregulierten Lernens in einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung zu erfassen und deren Zusammenhänge zu Personenmerkmalen von Studierenden zu untersuchen.

Im theoretischen Teil der Arbeit werden zunächst unterschiedliche Definitionen und Modellierungen zum selbstregulierten Lernen beschrieben. In Anlehnung an die Modellierung der Kompetenz als Kontinuum von Blömeke et al. (2015) wird anschließend eine integrativ angelegte Modellierung zum selbstregulierten Lernen vorgenommen. Insbesondere Lernstrategien als „konstituierendes Element des selbstregulierten Lernens“ (Artelt, 2000, S. 16) werden genauer betrachtet und in Bezug zum selbstregulierten Lernen klassifiziert (Kapitel 2). Vor dem Hintergrund dieser eher grundsätzlichen Überlegungen wird anschließend der Stand der Forschung zum selbstregulierten Lernen in digitalen Lernumgebungen dargestellt und daraus Forschungsdesiderate abgeleitet (Kapitel 3). Anschließend wird die im Rahmen der Arbeit erstellte und der Untersuchung zu Grunde liegende offene, aufgabenbasierte, digitale Lernumgebung vorgestellt sowie die eingesetzten Instrumente, das Vorgehen bei der Datenerhebung und die Stichprobe beschrieben (Kapitel 4). In Kapitel 5 wird das methodische Vorgehen zur Auswertung der Daten erläutert, bevor die Ergebnisse der Untersuchungen in Kapitel 6 dargestellt und in Verbindung mit den theoretischen Überlegungen und dem aktuellen Forschungsstand diskutiert werden. Abschließend werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick für weiterführende Forschungsarbeiten gegeben (Kapitel 7).

2 Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung zum selbstregulierten Lernen

Die Regulation eigener Lernprozesse ist ein wesentlicher Bestandteil des Studiums und für das lebenslange Lernen von zentraler Bedeutung. Während in der Forschung Einigkeit über die Relevanz der Regulation des eigenen Lernens herrscht, werden von verschiedenen Autorinnen und Autoren unterschiedliche Konstrukte zur Beschreibung der Regulation des eigenen Lernprozesses genutzt. Obwohl eine Reihe der unterschiedlichen Konstrukte eine Vielzahl an Gemeinsamkeiten aufweist (vgl. Loyens et al., 2008, Saks & Leijen, 2014), nutzen Autorinnen und Autoren unterschiedliche Begrifflichkeiten: „selbstreguliertes“ (eng: „self-regulated“), „selbstgesteuertes“ (eng.: „self-directed“) oder „autonomes“ (eng.: „autonomous“) Lernen.² Um die verschiedenen Konstrukte und Begrifflichkeiten zu unterscheiden, bedienen sich einige Autorinnen und Autoren einer Abgrenzung des selbstregulierten, selbstgesteuerten und autonomen Lernens mittels des Grades der Fremdbestimmung: Selbstreguliertes, selbstgesteuertes und autonomes Lernen werden als verschiedene Bereiche eines Kontinuums zwischen Selbstbestimmtheit und Fremdbestimmtheit betrachtet (vgl. Loyens et al., 2008; Saks & Leijen, 2014). Während beim autonomen Lernen in der Regel weder Lernziele noch Lernmaterialien vorgegeben werden, das Lernen also vollständig von den Lernenden organisiert und ausgestaltet wird, werden beim selbstgesteuerten Lernen Lernziele vorgegeben, die Selektion, Auswahl und Bewertung von Lernmaterialien erfolgt jedoch auch hier durch die Lernenden. Beim selbstregulierten Lernen werden die Lernenden häufig durch die Vorgabe von Lernmaterialien, bspw. durch eine Lehrkraft unterstützt, dadurch jedoch weiter in ihrer Selbstbestimmung eingeschränkt. Das so umrissene selbstregulierte Lernen ist nicht als Endpunkt eines Spektrums zwischen Fremdbestimmung und Selbstbestimmung zu betrachten, sondern kann selbst wiederum in unterschiedlichen Ausprägungen in einem Kontinuum zwischen Selbst- und Fremdbestimmtheit vorliegen. So können Lernende im Rahmen des selbstregulierten Lernens bspw. durch die Genauigkeit der Vorgabe von Lernzielen, Lernmaterialien und Lernort in ihrer Selbstbestimmung weiter eingeschränkt werden.

Unter Rückbezug auf die Unterscheidung von selbstreguliertem, selbstgesteuertem und autonomen Lernen in Hinblick auf den Grad der Selbstbestimmung im Lernprozess, liegt in

² Einerseits werden die unterschiedlichen Begrifflichkeiten zur Abgrenzung der einzelnen Konstrukte genutzt, andererseits werden diese jedoch häufig auch synonym verwendet (zsf. Saks & Leijen, 2014; Zimmermann & Lebeau, 2000).

den folgenden Ausführungen der Fokus auf dem selbstregulierten Lernen, da im Forschungsvorhaben die Lerninhalte für die Lernenden fremdbestimmt festgelegt sind.

2.1 Modellierung des selbstregulierten Lernens

Das selbstregulierte Lernen (SRL) ist in den vergangenen Jahrzehnten von einer Vielzahl von Autorinnen und Autoren unterschiedlich definiert worden (Pintrich, 2000; Schiefele & Pekrun, 1996; Zimmerman, 1989; Zimmerman & Schunk, 1989). Pintrich (2000) fasst aus einer Reihe von Definitionen konsensuale Annahmen zusammen und formuliert: „[SRL] is an active, constructive process whereby learners set goals for their learning and then attempt to monitor, regulate, and control their cognition, motivation and behavior, guided and constrained by their goals and the contextual features in the environment“ (Pintrich, 2000, S. 453).

Unterschieden werden kann in der Operationalisierung des SRL zwischen einer stabilen, entwicklungsfähigen und kontextunabhängigen Fähigkeit (eng.: „aptitude“) auf der einen Seite und einem dynamischen, kontextabhängigen Prozess (eng.: „process“) auf der anderen Seite (vgl. Boekaerts & Corno, 2005; Endedijk et al., 2016; Winne, 2010; Winne & Perry, 2005;). In Arbeiten, die auf die Fähigkeiten zum SRL gerichtet sind, stehen primär die den individuellen Lernprozessen zu Grunde liegenden Konstrukte wie bspw. die Zielorientierung oder das Vorwissen der Lernenden im Zentrum der theoretischen Modellierungen und empirischen Erhebungen. Arbeiten, die sich primär mit den Prozessen des SRL befassen, richten ihr Augenmerk vor allem auf die Performanz der Lernenden im Lernprozess (vgl. Boekaerts & Corno, 2005; Snow, 1991; Winne & Perry, 2005). Analog zu den unterschiedlichen Operationalisierungen existieren zwei verschiedene Kategorien von Modellierungen zum SRL: *Komponentenmodelle* und *Prozessmodelle*. Während in Komponentenmodellen primär die Fähigkeiten der Lernenden in Bezug auf das SRL beschrieben werden, fokussieren Prozessmodelle primär auf mögliche zum SRL zugehörige Prozesse.

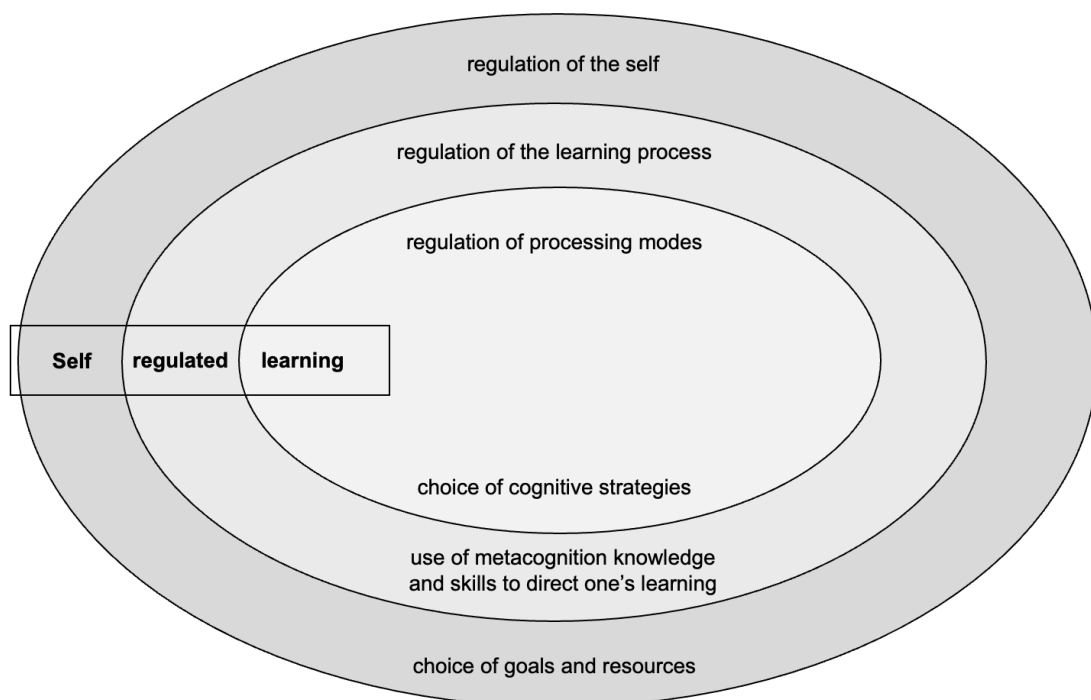
Modellierung von Fähigkeiten des SRL

Eines der bekanntesten Komponentenmodelle zur Modellierung der Fähigkeiten des SRL ist das „Drei-Schichten-Modell“ (eng.: „Three-Layered-Model“) von Boekaerts (1999). Innerhalb dieses Modells werden die zum SRL notwendigen Fähigkeiten modelliert und dabei in drei Schichten unterteilt. Die *kognitive Schicht* umfasst die Fähigkeiten zu lernen, die *metakognitive Schicht* die Fähigkeiten das eigene Lernen zu steuern und die *Schicht des Selbst* die Fähigkeiten der Regulation des Selbst. Die unterschiedlichen Schichten sind dabei hierarchisch angeordnet. Während die innere, kognitive Schicht Fähigkeiten des

Nutzens, Organisierens und Kombinierens von Lern- und Bearbeitungsstrategien beinhaltet, umfasst die mittlere metakognitive Schicht Fähigkeiten des Überwachens und Steuerns dieser Strategien. Wesentliche metakognitive Fähigkeiten sind hier das Planen, Ausführen, Überwachen und Bewerten der Kognition. Die äußere Schicht des Selbst beschreibt Fähigkeiten der Regulation auf einer übergeordneten und z. T. vom Inhalt losgelösten Ebene, bspw. die Auswahl von Lernzielen, die Regulation der Motivation oder die Willenskontrolle. Boekaerts (1999) beschreibt innerhalb des Modells nicht ausschließlich Fähigkeiten der Lernenden bzgl. des SRL, sondern setzt diese bereits in direkten Bezug zu möglicherweise ablaufenden Prozessen. Lernende müssen demnach nicht nur über Fähigkeiten in den einzelnen Bereichen verfügen, sondern diese auch innerhalb verschiedener Prozesse anwenden können. So wird bspw. neben den Fähigkeiten im Bereich des Selbst auch deren Anwendung im Lernprozess, wie die Wahl von geeigneten Zielen und Ressourcen, beschrieben (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1

Drei-Schichten-Modell des SRL



Anmerkung. Modell in Anlehnung Boekaerts (1999, S. 449)

Ein weiteres zentrales Komponentenmodell zum SRL ist das „Sechs-Komponenten-Modell“ von Boekaerts (1996). Innerhalb des Sechs-Komponenten-Modells (eng.: „Six-Component-Model“) beschreibt Boekaerts neben Fähigkeiten u. a. unterschiedliche Bereiche des für das SRL notwendigen kognitiven und motivationalen Vorwissens. Grundvoraussetzungen für das SRL sind dabei nicht nur domänenspezifisches Wissen und Fähigkeiten, sondern auch Wissen und Fähigkeiten in Bereich der Metakognition, sowie zu kognitiven und motivationalen Strategien. Boekaerts (1996) unterteilt in sechs unterschiedliche Komponenten: (1) domänenspezifisches Wissen und Fähigkeiten, (2) metakognitives Wissen und Fähigkeiten sowie motivationale Überzeugungen, (3) Fähigkeiten und Wissen bzgl. kognitive Strategien, (4) motivationale Strategien, (5) kognitive Regulationsstrategien und (6) motivationale Regulationsstrategien (siehe Abbildung 2).

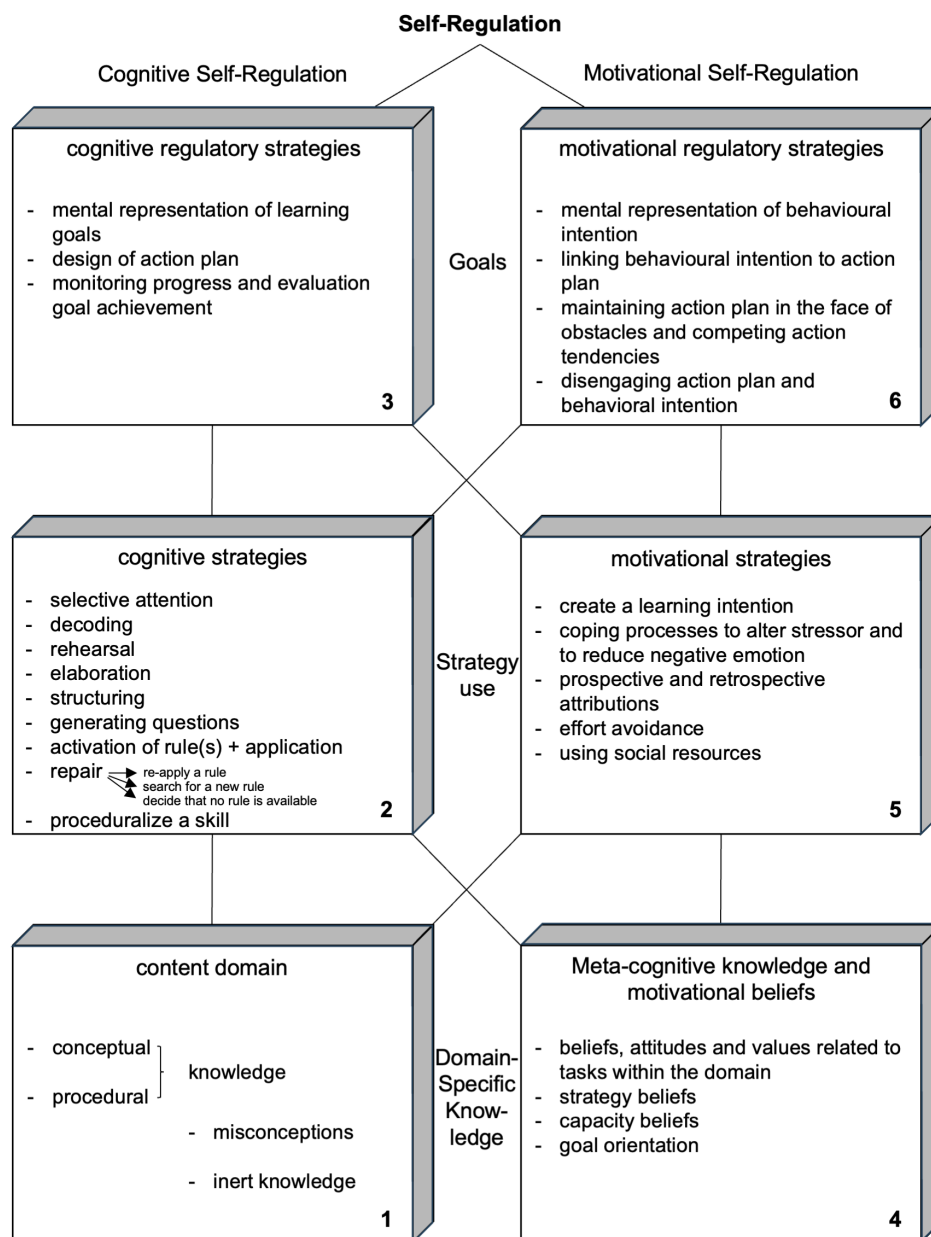
Eine wesentliche von Boekaerts (1996) getroffene und in der Modellierung integrierte Unterscheidung ist die Differenzierung von Wissen und Fähigkeiten in Bezug auf deren *Verfügbarkeit* und *Zugänglichkeit*. So ist jede Komponente im Modell dreidimensional dargestellt. Dabei visualisiert der hintere Teil jeder Komponente nicht zugängliches oder im Kontext abrufbares Wissen oder Fähigkeiten („The dark part of each cube represents prior knowledge that is not accessible to the student or cannot be used adequately in the current context“, Boekaerts, 1997, S. 163). So wird verdeutlicht, dass Lernende über Wissen und Fähigkeiten verfügen, diese aber möglicherweise in Bezug auf eine bestimmte Domäne oder eine bestimmte Situation nicht abrufen bzw. nutzen können. Durch diese Unterscheidung wendet Boekaerts (1996; 1997) die modellierten Bereiche des Vorwissens und der Fähigkeiten direkt auf spezifische Lernsituationen an. Wissen und Fähigkeiten sind demnach in Bezug zu den beschriebenen Operationalisierungen nicht ausschließlich situations- und kontextunabhängig in der Person zu verorten, sondern müssen situations- und domänenabhängig angewendet werden können. Dies gilt neben Vorwissen und Fähigkeiten auch für zum SRL zugehörige Prozesse und Überzeugungen (Komponente 4 und 5; siehe Abbildung 2).

In Anbetracht der dichotomen Operationalisierung können die unterschiedlichen Komponenten des „Sechs-Komponenten-Modells“ verschieden aufgefasst werden. U. a. das Entwerfen eines Handlungsplans („design of action plan“; siehe Abbildung 2, Komponente 3) kann sowohl als das von Lernenden notwendige Wissen über verschiedene Handlungspläne und das Entwerfen eines solchen betrachtet werden, als auch als Fähigkeit oder ein zum SRL zugehöriger Prozess. Da Boekaerts (1997) im Zusammenhang mit ihrem Modell zwar von „Vorwissen“ (eng.: „prior knowledge“) spricht, sich dabei jedoch auf die

von Snow und Swanson (1992) unterschiedenen Kategorien wie konzeptuelle Strukturen, prozedurale Fähigkeiten, Lernstrategien, Motivationskonstrukte und volitionale Funktionen bezieht, lässt sich die von Boekaerts angenommene Beziehung zwischen Wissen, Fähigkeiten und Prozessen sowie der Zusammenhang zu den Überzeugungen nicht rekonstruieren.

Abbildung 2

Sechs-Komponenten-Modell zum SRL



Anmerkung. In Anlehnung an Boekaerts (1996, S. 103)

Modellierung von Prozessen des SRL

In der Literatur lassen sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozessmodellen zum SRL finden (Boekaerts & Corno, 2005; Efklides, 2011; Hadwin et al., 2011; Pintrich, 2000; Winne & Hadwin, 1998; Zimmerman, 2000). Konsens dieser Modelle ist neben dem zyklischen Aufbau die Unterteilung des SRL in mindestens drei unterschiedliche Phasen: eine *Planungsphase*, eine *Handlungsphase* und eine *Reflexionsphase* (zsf. Beishuizen & Steffens, 2011; Panadero, 2017; Puustinen & Pulkkinen, 2001; Winters et al., 2008). Innerhalb der Planungsphase werden Prozesse zur Zielsetzung und dem damit verbundenen strategischen Vorgehen zur Zielerreichung beschrieben. Die Handlungsphase umfasst Prozesse der Bearbeitung von Lernmaterial und somit der Anwendung von Bearbeitungs- und Lernstrategien sowie Prozesse zur Überwachung und Kontrolle eigener Handlungen. Innerhalb der Reflexionsphase werden Prozesse der Evaluation des eigenen Lernprozesses abgebildet.

Eine der bekanntesten und umfassendsten Modellierung zu Prozessen des SRL ist das „General Framework for SRL“ von Pintrich (2000), in dem Prozesse des SRL neben der Unterteilung in Phasen zusätzlich in unterschiedliche *Dimensionen* eingeteilt werden. Einerseits wird so zwischen einer Planungs-, einer Überwachungs-, einer Kontroll- und einer Reflexionsphase³ unterschieden, andererseits werden Prozesse des SRL in die Dimensionen *Kognition, Motivation und Emotion*⁴ sowie in *Verhalten* und *Kontext* unterteilt. Während die Unterteilung in einzelne Phasen aus einer möglichen chronologischen Reihenfolge von Subprozessen im Lernprozess abgeleitet wird,⁵ sind die unterschiedlichen Dimensionen in gewisser Weise analog zu den drei Schichten *Kognition, Metakognition* und *Selbst* im Modell von Boekaerts (1999) zu betrachten. In der Dimension der Kognition werden Prozesse zu Planungs-, Lern-, Bearbeitungs- und Evaluationsstrategien beschrieben, die alle auf mögliche kognitive und metakognitive Fähigkeiten der Lernenden zurückgehen (innere und mittlere Schicht im Drei-Schichten-Modell; siehe Abbildung 1). Innerhalb der Dimension der Motivation und Emotion werden primär Prozesse zum

³ Pintrich (2000) unterscheidet in vier statt wie in eine Reihe von weiteren Prozessmodellen üblich in drei Phasen. Dabei unterteilt Pintrich die Subprozesse der Handlungsphase in eine Überwachungs- und eine Regulationsphase.

⁴ „Emotion“ als Übersetzung von „affect“. Emotion wird hier analog zum englischen „affect“ als ein Oberbegriff für Gefühle, Stimmung und Affekt verstanden.

⁵ Obwohl die unterschiedlichen Phasen in einer Reihe von Prozessmodellen als chronologischer und/oder zyklischer Prozess dargestellt werden, entspricht dies nicht immer den real ablaufenden Prozessen (vgl. Azevedo, 2009; Pintrich, 2000). Die unterschiedlichen Phasen bedingen sich gegenseitig und wechselwirken miteinander, sodass die Modellierungen lediglich als ein Ansatz zur Erklärung und zur Strukturierung der SRL-Prozesse herangezogen werden können, diese jedoch nicht in ihrer wahren Wechselwirkung abbilden.

Aufrechterhalten des Lernprozesses beschrieben. Diese basieren auf möglichen Fähigkeiten im Bereich des Selbst wie bspw. einer selbstbestimmten Zielsetzung (äußere Schicht im Drei-Schichten-Modell; siehe Abbildung 1). Die Dimension des Verhaltens bildet mögliche Prozesse innerer und äußerer Handlungen der Lernenden ab, die Dimension des Kontextes primär Prozesse bzgl. der Interaktion der Lernenden mit der Lernumgebung. Die verschiedenen Prozesse einzelner Phasen unterschiedlicher Dimensionen in Anlehnung an Pintrich (2000) werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Prozessmodell zum SRL

	Areas for regulation			
	Cognition	Motivation/Affect	Behavior	Context
<i>Phase 1</i> Forethought, planning, and activation	Target goal setting Prior content knowledge activation Metacognition knowledge activation	Goal orientation adoption Efficacy judgments Perception of task difficulty Tasks value activation Interest activation	Time and effort planning Planning for self- observations of behavior	Perceptions of task Perception of context
<i>Phase 2</i> Monitoring	Metacognitive awareness and monitoring of cognition	Awareness and monitoring of motivation and affect	Awareness and monitoring to effort, time use, need for help Self-observation of behavior	Monitoring changing task and context conditions
<i>Phase 3</i> Control	Selection and adaption of cognitive strategies for learning, thinking	Selection and adaption of strategies for managing, motivation, and affect	Increase/decrease effort Persist, give up Help-Seeking behavior	Change or renegotiate task Change or leave context
<i>Phase 4</i> Reaction and reflection	Cognitive judgments	Affective reactions	Choice behavior	Evaluation of task

Anmerkung. In Anlehnung an Pintrich (2000, S. 454)

Das als Prozess operationalisierte SRL setzt sich sowohl im Rahmen der Modellierung von Pintrich (2000) als auch bei anderen Autorinnen und Autoren aus einer Reihe von Prozessen bzw. Subprozessen zusammen (vgl. Boekaerts & Corno, 2005; Efklides, 2011; Hadwin et al., 2011; Pintrich, 2000; Winne & Hadwin, 1998; Zimmerman, 2000). Die Integration von Prozessen des Verhaltens in der Modellierung von Pintrich (2000) findet sich in dieser Form in keinem weiteren Prozessmodell zum SRL. Durch die über die Kognition, Motivation und Emotion hinausgehenden integrierten Prozesse zur Interaktion mit der Lernumgebung gibt Pintrich (2000) einen umfassenden Überblick über die Prozesse des SRL, während andere Prozessmodelle in der Regel ausschließlich auf verschiedene Dimensionen fokussieren.⁶

Wie bereits beschrieben wurde, kann die Unterteilung von Prozessen in die Dimensionen Kognition sowie Motivation und Emotion von Pintrich (2000) mit der Unterteilung von Fähigkeiten in Schichten nach Boekaerts (1999) in gewisser Weise gleichgesetzt werden. Die Fähigkeiten der inneren, als Kognition modellierten Schicht, lassen sich mit den von Pintrich in der Dimension der Kognition modellierten Prozesse verbinden. Eine von Pintrich bspw. als Prozess beschriebene Regulation der Kognition (Kontrollphase innerhalb der Dimension der Kognition; siehe Tabelle 1) ist nur dann gezielt möglich, wenn die Lernenden über Fähigkeiten zur Regulation und somit über Lern- und Regulationsstrategien verfügen. Das „Sechs-Komponenten-Modell“ von Boekaerts (1996) erweitert das Verständnis diesbezüglich insofern, als dass die Lernenden nicht nur über die Fähigkeiten der Regulation verfügen, sondern diese für die Lernenden situationsspezifisch zugänglich sein müssen, damit sie im Lernprozess eingesetzt werden können.

In Anbetracht des engen Zusammenhangs zwischen Wissen, Fähigkeiten und Prozessen innerhalb des SRL scheint die von der Literatur skizzierte Dichotomie der Operationalisierung des SRL als kontextunabhängige Fähigkeit einerseits und einem kontextabhängigen Prozess andererseits sowie die in Anlehnung an die Operationalisierungen vorgenommene Unterteilung in Komponenten- und Prozessmodelle im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung von SRL weder eindeutig möglich noch zielführend. Obwohl beide Operationalisierungen und unterschiedliche Modellierungen auf verschiedene Facetten (kontextunabhängige Fähigkeiten und kontextabhängiger Prozess) von SRL gerichtet sind, ist eine solche Trennung nicht notwendig (vgl. Boekaerts &

⁶ Einen Überblick über die unterschiedlichen Modellierungen und deren Fokus ist in Panadero (2017) und Puustinen und Pulkkinen (2001) zu finden.

Corno, 2005). Für ein globales Verständnis wird eine integrative Betrachtung beider Operationalisierungen sogar gefordert (Maldonado-Mahauad et al., 2018).

Modellierung von SRL als Kompetenz

Neben der Auffassung des SRL als kontextunabhängige Fähigkeit oder einem kontextabhängigen Prozess wird von einigen Autorinnen und Autoren SRL als *Kompetenz* definiert (Artelt, 2000; van den Boom et al., 2004; Wirth und Leutner, 2008). Wirth und Leutner (2008) beschreiben SRL bspw. als eine Kompetenz „to autonomously plan, execute, and evaluate learning processes, which involves continuous decisions on cognitive, motivational, and behavioral aspects of the cyclic process of learning“ (Wirth & Leutner, 2008, S.103). Auch im Rahmen der PISA-Studie 2000 definieren Baumert et al. (2001, S. 28) SRL als „eine komplexe Handlungskompetenz“. Während Wirth und Leutner (2008) die Betrachtung von SRL als Kompetenz nutzen, um die Kernelemente aus Komponenten- und Prozessmodellen zu verbinden, nutzen van den Boom et al. (2004) den Kompetenzbegriff, um zu verdeutlichen, dass die Lernenden nicht nur Wissen und Fähigkeiten benötigen, sondern diese in Lernsituationen auch anwenden können müssen:

In accordance with Van Merriënboer (1999), we define competence as the mix of complex cognitive skills, interpersonal skills and attitudes based on how someone can function effectively in a particular domain or profession. So, competence refers to someone's ability to adequately and effectively use and apply relevant knowledge, skills, and attitudes in particular task situations. (van den Boom et al., 2004, S. 552)

Eine Möglichkeit die Operationalisierung des SRL als kontextunabhängige Fähigkeit und die Operationalisierung als situativ-kontextabhängiger Prozess zu verbinden und die Wechselbeziehung zwischen Wissen, Fähigkeiten, deren situationsspezifischen Anwendung und zugehörigen Prozessen im Sinne einer Kompetenz zu modellieren, bietet die Auffassung des SRL als Kompetenz in Anlehnung an das Kompetenzmodell von Blömeke et al. (2015).

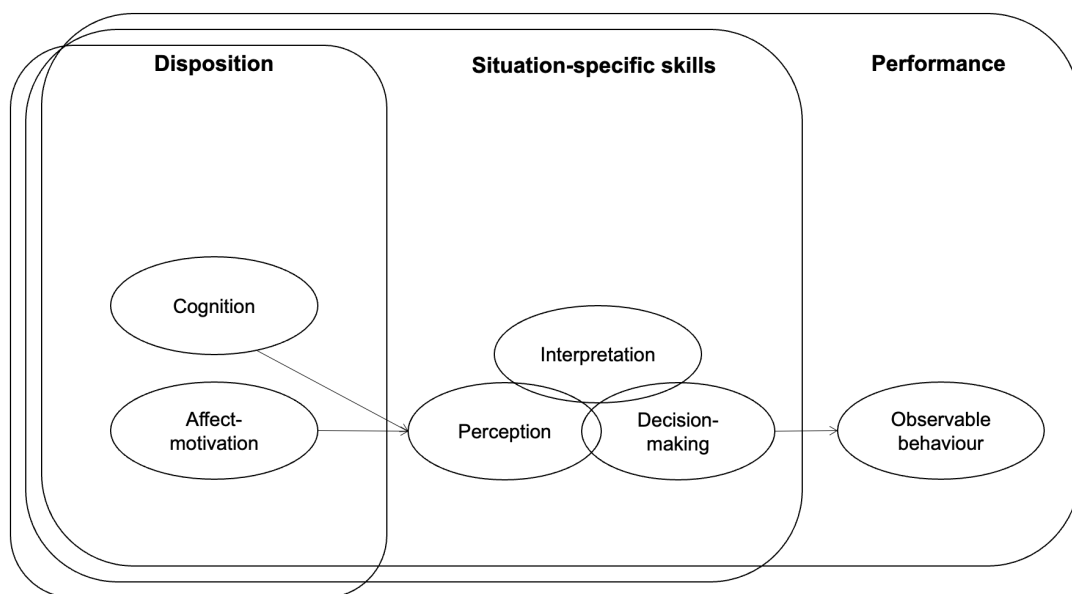
Blömeke et al. (2015) beschreiben Kompetenz einerseits als ein multidimensionales Konstrukt, welches neben Wissen, kognitiven Fähigkeiten und affektiv-motivationale Dispositionen auch Verhalten umfasst: „[...] competence includes ‘criterion behavior’ as well as the knowledge, cognitive skills and affective-motivational dispositions that underlie that behavior“ (Blömeke et al., 2015, S. 5). Andererseits gehen die Autorinnen und Autoren davon aus, dass Kompetenz als ein Kontinuum zwischen einer dem Verhalten zu Grunde liegenden Disposition (kognitiv, affektiv, motivational) und dem Verhalten selbst aufgefasst

werden sollte, in dem situative Wahrnehmungs- und Denkprozesse („situation specific skills“; siehe Abbildung 3) eine verbindende Funktion erfüllen:

The analytic (latent trait) side of the model (left-side [siehe Abbildung 3]) includes indicators for cognitive, affective and motivational traits demanded in particular contexts/situations. Such competencies are structurally related to real-world performance (right-side [siehe Abbildung 3]) through a set of perceptual, interpretive and decision-making processes (middle [siehe Abbildung 3]). (Blömeke et al., 2015, S. 16)

Abbildung 3

Allgemeine Modellierung der Kompetenz als Kontinuum



Anmerkung. Kompetenzmodell in Anlehnung an Blömeke et al. (2015, S. 9)

Die für SRL typischen Definitionen lassen einerseits eine Interpretation von SRL als Kompetenz mit kognitiven und motivationalen Anteilen zu. Andererseits lassen sich die Unterscheidungen von Komponenten- und Prozessmodellen in das von Blömeke et al. (2015) beschriebene Modell der Kompetenz als Kontinuum einordnen. Die bisher beschriebenen Operationalisierungen (SRL als Fähigkeit und SRL als Prozess) können darin miteinander verbunden und die bereits genannten Wechselbeziehungen zwischen Wissen, Fähigkeiten, deren situationsabhängigen Anwendung und der zugehörigen Prozesse veranschaulicht werden. Während die Operationalisierung des SRL als stabile, entwicklungsfähige und kontextunabhängige Fähigkeit unter der *dispositionellen*

Facette des Kompetenz-Kontinuums eingeordnet werden kann (siehe Abbildung 3 links), kann die Operationalisierung des SRL als dynamischer und kontextabhängiger Prozess den *situationsspezifischen Fähigkeiten* (siehe Abbildung 3 mittig) und der *Facette der Performanz* (siehe Abbildung 3 rechts) zugeordnet werden. Lernende müssen über Wissen und Fähigkeiten verfügen und diese situationsspezifisch anwenden können, um gezielt im Sinne des SRL handeln zu können.

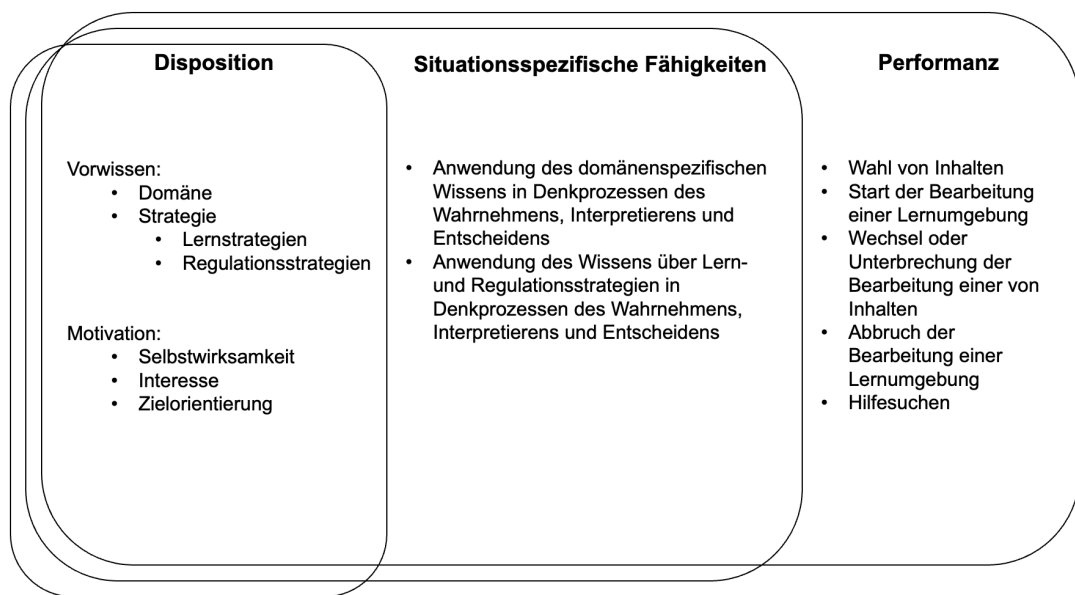
Eine Zusammenführung der Inhalte der verschiedenen Operationalisierungen und der oft genutzten Modellierungen zum SRL (Komponentenmodelle und Prozessmodelle) ist insofern durch die von Blömeke et al. (2015) beschriebenen Facetten der Kompetenz (Disposition, situationsspezifische Fähigkeiten, Performanz) möglich, dass die beschriebenen Fähigkeiten und Prozesse je nach Bezug (zur kontextunabhängigen Fähigkeit, dem kontextabhängigen Prozess oder der Anwendung von Fähigkeiten innerhalb des Kontextes) in eine der drei Facetten eingeordnet werden können. Alle Inhalte der unterschiedlichen Modellierungen, die sich auf deklaratives und prozedurales Wissen beziehen, können so der Facette der Disposition zugeordnet werden. Dazu gehört einerseits domänenspezifisches Wissen, andererseits Wissen über mögliche Lern- oder Regulationsstrategien. Zudem sind die in den Modellierungen von Boekaerts (1996; 1999) und Pintrich (2000) berücksichtigten motivational-emotionalen Aspekte, die einen „Trait“-Charakter⁷ haben, der dispositionellen Facette zuzuordnen. Dem gegenüber steht die Facette der Performanz. Unter diese werden alle von Pintrich (2000) beschriebenen Subprozesse eingeordnet, die direkt beobachtbare Handlungen beschreiben wie beispielsweise die Wahl der Instruktion oder der Abbruch des Lernens. Primär werden dieser Facette somit Prozesse zugeordnet, die Pintrich (2000) innerhalb der Dimension des Verhaltens und des Kontextes beschreibt (siehe Tabelle 1). Unter den situations-spezifischen Fähigkeiten der Kompetenz des SRL werden alle Prozesse und Fähigkeiten eingeordnet, die Disposition und Performanz verbinden und sich auf situative Wahrnehmungs-, Denk- und Entscheidungsaktivitäten beziehen. So reihen sich hier beispielsweise die situationsabhängige Anwendung des deklarativen oder prozeduralen Wissens ein oder die Regulation der eigenen Motivation im Lernprozess, etwa zur Aufrechterhaltung der Lernaktivität selbst.

⁷ Als Aspekte der Motivation mit einem „Trait“-Charakter werden diejenigen Aspekte der Motivation bezeichnet, die als „überdauernde motivationale Orientierung“ der Lernenden gelten (Winther, 2006, S.9).

Durch die Einordnung der von einer Vielzahl von Autorinnen und Autoren beschriebenen Fähigkeiten und Subprozesse des SRL in das Kompetenzmodell von Blömeke et al. (2015) ergibt sich eine neue Strukturierung der unterschiedlichen Aspekte des SRL, die gleichzeitig die bereits an anderer Stelle geforderte und bisher nur teilweise eingelöste Verbindung leistet (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4

Modellierung der SRL-Kompetenz als Kontinuum



Anmerkung. SRL-Kompetenz als Kontinuum in Anlehnung an Blömeke et al. (2015)

2.2 Lern- und Regulationsstrategien im Detail betrachtet

Die sowohl im Prozessmodell von Pintrich (2000) als auch im Komponentenmodell von Boekaerts (1996) aufgeführten Lern- und Regulationsstrategien können im Sinne von Blömeke et al. (2015) je nach Betrachtungsweise als unterschiedliche Facetten der Kompetenz in das Modell integriert werden. Während das Wissen über Lern- und Regulationsstrategien, wie es bspw. im Modell von Boekaerts (1996) beschrieben wird, der dispositionellen Facette der Kompetenz zugeordnet werden kann, können auf möglicherweise Lern- oder Regulationsstrategien basierende Handlungen der Facette der Performanz zugeordnet werden. Eine Zuordnung der Strategien zu den situationsspezifischen Fähigkeiten ist darüber hinaus insofern möglich, dass Lern- und Regulationsstrategien innerhalb des Lernprozesses situative Denkprozesse des Wahrnehmens, Interpretierens und Entscheidens beschreiben können. Nehmen Lernende bspw. bei der Bearbeitung einer Instruktion wahr, dass sie diese nicht ausreichend gut bearbeiten können, interpretieren, dass sie zu wenig Wissen über den Inhalt der Instruktion haben und entscheiden daher eine vorherige Instruktion (bspw. inhaltliche Grundlagen oder eine Instruktion auf einem niedrigeren Anforderungsniveau) in den Blick zu nehmen, entspricht der innere Denkprozess von der Wahrnehmung über die Interpretation zur Entscheidungsfindung einer Lernstrategie als situationsspezifische Fähigkeit. Der Wechsel der Instruktion selbst im Handlungsprozess wird der Performanz zugeordnet, das Wissen über die Strategie inhaltliche Grundlagen zu bearbeiten der Disposition.

Eine Einordnung der von Boekaerts (1996) und Pintrich (2000) beschriebenen Lern- und Regulationsstrategien in die unterschiedlichen Facetten der SRL-Kompetenz ist nur nach weiterer Differenzierung der Strategien bezüglich deren Anwendung möglich. Praktisch ist die Anwendung dieser Strategien jedoch schwer zu fassen, da sie hoch situativ sind und i. d. R. weder in Handlungen der Lernenden zu beobachten noch in der Disposition der Lernenden verankert sind. Gerade diese Strategien sind jedoch für das SRL von zentraler Bedeutung (vgl. Boekaerts, 1996, Pintrich, 2000) und werden als „konstituierendes Element des selbstregulierten Lernens“ (Artelt, 2000, S. 16) betrachtet. Sie verbinden die Fähigkeiten und das Wissen der Lernenden situationsabhängig mit dem Kontext des Lernens und den Handlungen der Lernenden im Lernprozess sowohl auf einer inhaltlichen Ebene (Lernstrategien) als auch auf einer emotional-motivationalen Ebene (Regulationsstrategien).

2.2.1 Lernstrategien

Lernstrategien werden in der Literatur nicht als ein einheitliches Konstrukt definiert, vielmehr existieren eine Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen. Klauer (1988) definiert Lernstrategien als „a plan of a sequence of actions to attain a learning objective“ (Klauer, 1988, S. 355). Friedrich und Mandl (1992) beschreiben Lernstrategien hingegen als „Handlungssequenzen zur Erreichung eines Lernziels“ (Friedrich & Mandl, 1992, S. 6), Wenden (1987) beschreibt diese als „eine Form des Wissens“ (Wenden, 1987, S. 9). Die Annahme, dass eine Zuordnung von Lern- und Regulationsstrategien in die Modellierung der SRL-Kompetenz als Kontinuum (siehe Abbildung 4) erst nach einer weiteren Differenzierung bezüglich deren Anwendung im Lernprozess vorgenommen werden kann, wird durch die verschiedenen hier gewählten Definitionen⁸ gestützt.

Neben einer Reihe von verschiedenen Definitionen zu Lernstrategien finden sich unterschiedliche Klassifikationen dieser in der Literatur. Während beispielsweise Friedrich und Mandl (1992) in *Primär-* und *Stützstrategien* unterscheiden, unterscheidet Wild in *Tiefen-* und *Oberflächenstrategien*, Klauer (1988) in *Makro-*, *Meso-* und *Mikrostrategien*. In Verbindung mit dem SRL wird zudem häufig in *kognitive*, *metakognitive* und *ressourcenbezogene Lernstrategien* unterschieden. Im Folgenden werden die genannten Klassifizierungen von Lernstrategien für ein differenziertes Verständnis und einer möglichen Verknüpfung dieser mit der Auffassung der SRL-Kompetenz als Kontinuum beschrieben.

In Anlehnung an das „Drei-Schichten-Modell“ von Boekaerts (1999) wird in der Literatur häufig zwischen kognitiven, metakognitiven und ressourcenbezogenen Strategien unterschieden (vgl. Boekaerts, 1999; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1993). Unter den kognitiven Lernstrategien werden dabei Lernstrategien zusammengefasst, die sich direkt auf die zu lernenden Inhalte beziehen und das Verstehen und Einprägen dieser Inhalte intendieren. Unterschieden werden kann dabei weiterhin in *Tiefen-* und *Oberflächenstrategien*, sowie in *Wiederholungs-*, *Elaborations-* und *Organisationsstrategien*⁹ (vgl. Leopold & Leutner, 2002; Weinstein & Mayer, 1986). Während beim

⁸ Die hier aus einer Vielzahl an Definitionen gewählten Definitionen sollen nicht nur zur Verdeutlichung der Problematik einer Zuordnung von Lernstrategien zu einer der Facetten der in der vorliegenden Arbeit modellierten SRL-Kompetenz dienen, sondern genügen darüber hinaus der Annahme, dass die Anwendung von Lernstrategien im Lernprozess zwar ein aktiver Prozess im Sinne eines Handlungsprozesses mit Lernintention ist, biologisch gesehen Lernen als neuronale Verbindung jedoch nicht aktiv gesteuert werden kann (vgl. Bear et al., 2007).

⁹ Einen Überblick über die Klassifizierungen von Strategien und einige weitere Beispiele zu den einzelnen Strategien findet sich u. a. in Brebeck (2014) und Wild (2005).

Einsatz von Wiederholungsstrategien Lernen durch reines Wiederholen der Lerninhalte intendiert wird, werden beim Einsatz von Organisationsstrategien Inhalte neu organisiert und strukturiert, um Lernen wahrscheinlicher zu machen. Organisationsstrategien dienen primär der Informationsreduktion auf die als wesentlich beurteilten Inhalte und können beispielsweise das Notizenmachen oder das Anfertigen von Schaubildern sein. Unter Elaborationsstrategien werden Strategien verstanden, die innere Denkprozesse oder äußere Handlungen zur Verknüpfung von bereits Erlerntem und Neuem beschreiben. Ein Beispiel für eine Elaborationsstrategie ist das Ausdenken von praktischen Anwendungen des neu erlernten Wissens. Sowohl Organisations- als auch Elaborationsstrategien weisen einen höheren Grad an Informationsverarbeitung auf (Wild, 2005). Sie gelten daher als Tiefenstrategien und grenzen sich so von Oberflächenstrategien wie dem Wiederholen ab.

Ein wesentlicher Teil des Einsatzes von kognitiven Lernstrategien sind innerhalb des SRL metakognitive Lernstrategien. Diese beziehen sich nicht direkt auf den Lerninhalt, sondern befassen sich auf einer hierarchisch übergeordneten Ebene mit der Kognition (vgl. Boekaerts, 1997). Eine metakognitive Strategie kann bspw. die Wahl einer passenden kognitiven Strategie zum Lernen sein. Während die Wiederholungsstrategie so bspw. häufig beim Lernen von Vokabeln lernwirksam genutzt wird, ist für das Zusammenfassen eines Textes möglicherweise die Organisationsstrategie effektiver. Unterteilt werden metakognitive Strategien analog zur typischen Unterteilung des als Prozess modellierten SRL (vgl. Pintrich, 2000) in Planungs-, Überwachungs- und Bewertungs- bzw. Reflexionsstrategien. Während sich Planungsstrategien auf Handlungen vor dem Lernprozess beziehen, wie dem Planen der Bearbeitungsreihenfolge von Lernmaterialien oder einer zu den eigenen Kenntnissen passenden Auswahl von zur Verfügung gestellten Lernmaterialien (vgl. Schiefele & Wild, 1994), werden unter Überwachungsstrategien Prozesse wie das Identifizieren von Wissenslücken im Lernprozess oder der Abgleich von einer selbst erarbeiteten Lösung mit einer Musterlösung zusammengefasst (Schiefele & Wild, 1994). Reflexionsstrategien hängen eng mit den Überwachungsstrategien zusammen. So lassen sich unter Strategien der Reflexion und der Bewertung des vergangenen Lernprozesses bspw. das Testen des eigenen Wissens bezogen auf die vorher bearbeiteten Inhalte oder die Beurteilung der eigenen Lerngeschwindigkeit und einer möglichen damit verbundenen Anpassung von verwendeten kognitiven Lernstrategien verstehen.

Analog zu den kognitiven Strategien ist in Verbindung mit den metakognitiven Strategien Wissen über verschiedene Strategien notwendig (Facette der Disposition), welches

situationsspezifisch und kontextabhängig angewendet werden muss (Facette der situationsspezifischen Fähigkeiten), um das Lernverhalten im Lernprozess zu beeinflussen (Facette der Performanz). Nicht notwendigerweise ist eine Änderung des Lernverhaltens basierend auf den Wahrnehmungen, Interpretationen oder Entscheidungen im Lernprozess sichtbar oder in einfacher Weise auf das Wissen der Lernenden oder deren situationsspezifischen Fähigkeiten zurückzuführen. Vielmehr besteht gleichermaßen die Möglichkeit, dass die Lernenden intuitiv Lernstrategien einsetzen oder ihre Lernstrategie im Lernprozess zufällig wechseln (vgl. Dunlosky et al., 2013; Mayer, 2014). Im Vergleich zu den kognitiven Lernstrategien lassen sich mögliche angewendete metakognitive Strategien weniger gut basierend auf Beobachtungen des Verhaltens rückführend interpretieren, insbesondere dann nicht, wenn keine Informationen über das Wissen der Lernenden über mögliche Strategien vorliegen.

Ressourcenbezogene Strategien wie bspw. die Gestaltung der Lernumgebung und des Zeitmanagements (Schiefele & Wild, 1994), sowie Strategien zur Anstrengung und Aufmerksamkeit (zsf. Wild, 2005) sind in Anbetracht der hierarchischen Struktur des „Drei-Schichten-Modells“ von Boekaerts (1999) sowohl den kognitiven als auch den metakognitiven Lernstrategien übergeordnet und werden meist unter dem Begriff der „Regulationsstrategien“ in der Literatur aufgeführt. Sie hängen insbesondere in Verbindung mit der Regulation der Motivation und der Emotion nicht nur mit Fragen u. a. der Persistenz der Bearbeitung einer Lernumgebung zusammen, sondern stellen z. T. die Voraussetzungen für das Lernen und damit die Anwendung von kognitiven und metakognitiven Lernstrategien dar.¹⁰

Die von insbesondere Klauer (1988), Krapp (1993) und Schlager (2019) verwendete Klassifikation von Lernstrategien in Mikro-, Meso- und Makrostrategien kann die bereits getroffene Unterscheidung von kognitiven, metakognitiven und ressourcenbezogenen Strategien in Anlehnung an das Drei-Schichten-Modell von Boekaerts (1999) um zwei weitere Dimensionen erweitern.

Krapp (1993) und Schlager (2019) nutzen die Klassifizierung von Lernstrategien in Anlehnung an die Unterscheidung von Lerntechniken, Lernstrategien und Lernstilen von Kirby (1988) im Zusammenhang mit den Zeiträumen der Nutzung bestimmter Lernstrategien. Während unter Mikrostrategien Strategien zur Bearbeitung einzelner Inhalte oder einzelner Aufgaben verstanden werden können, sind unter Mesostrategien solche

¹⁰ Genauer wird auf Regulationsstrategien in Kapitel 2.2.2 eingegangen.

Strategien zu verorten, die bezogen auf größere Zeiträume inneres oder äußeres Handeln¹¹ bestimmen. Mit Makrostrategien werden übergreifende Strategien zur Bearbeitung einer gesamten Lernumgebung oder über die Bearbeitung der Lernumgebung hinaus beschrieben. So können bspw. unter die Mikrostrategien Lernstrategien zur Lösung einer einzelnen Aufgabe einer Lernumgebung fallen, unter die Mesostrategien die innerhalb der Bearbeitung einer Lernumgebung passende Wahl von verschiedenen Aufgaben zu einem Thema und unter die Makrostrategien die Wahl eines bestimmten Zeitfensters für die Bearbeitung der Lernumgebung selbst. Die zeitliche Klassifikation der Anwendung einer Lernstrategie bietet die Möglichkeit der übergeordneten Einordnung der bereits klassifizierten Lern- und Regulationsstrategien. So können beispielsweise kognitive (unterteilt in Tiefen- und Oberflächenstrategien), metakognitive und ressourcenbezogene Lern- und Regulationsstrategien innerhalb von kurzen Zeitsequenzen oder über die Bearbeitung einer gesamten Lernumgebung hinweg eingesetzt werden. Um Lern- und Regulationsstrategien als wesentliches Element des SRL differenzierter darstellen zu können, wird die Unterteilung in Makro-, Meso- und Mikrostrategien in der vorliegenden Arbeit als eine zweite Dimension der Einordnung (Dimension 2, siehe Abbildung 5) von kognitiven, metakognitiven und ressourcenbezogenen (Dimension 1, siehe Abbildung 5) Lern- und Regulationsstrategien genutzt.¹²

Klauer (1988) nutzt anders als Krapp (1993) oder Schlager (2019) die Unterscheidung in Mikro-, Meso- und Makrostrategien um eine Abgrenzung von Lernstrategien bezüglich deren „generality of applicability“ (Klauer, 1988, S. 355), also deren Anwendbarkeit in und über bestimmte Lernsituationen hinaus, zu schaffen. Unterschieden wird analog zu Wirth (2004) zwischen *allgemeinen*, *fachspezifischen* und *aufgabenspezifischen Strategien*. Während allgemeine Strategien bspw. das Erkennen von Problemstellungen oder das Zeitmanagement umfassen, werden unter den fachspezifischen Strategien, Strategien zur Lösung fachspezifischer Probleme verstanden, die in verschiedenen Situationen innerhalb des Fachs bzw. bei verschiedenen Aufgaben eines Faches angewendet werden können

¹¹ Während sich innere Handlungen auf kognitive und metakognitive Prozesse beziehen und nicht unmittelbar zu beobachten sind, beziehen sich äußere Handlungen auf physische und beobachtbare Handlungen.

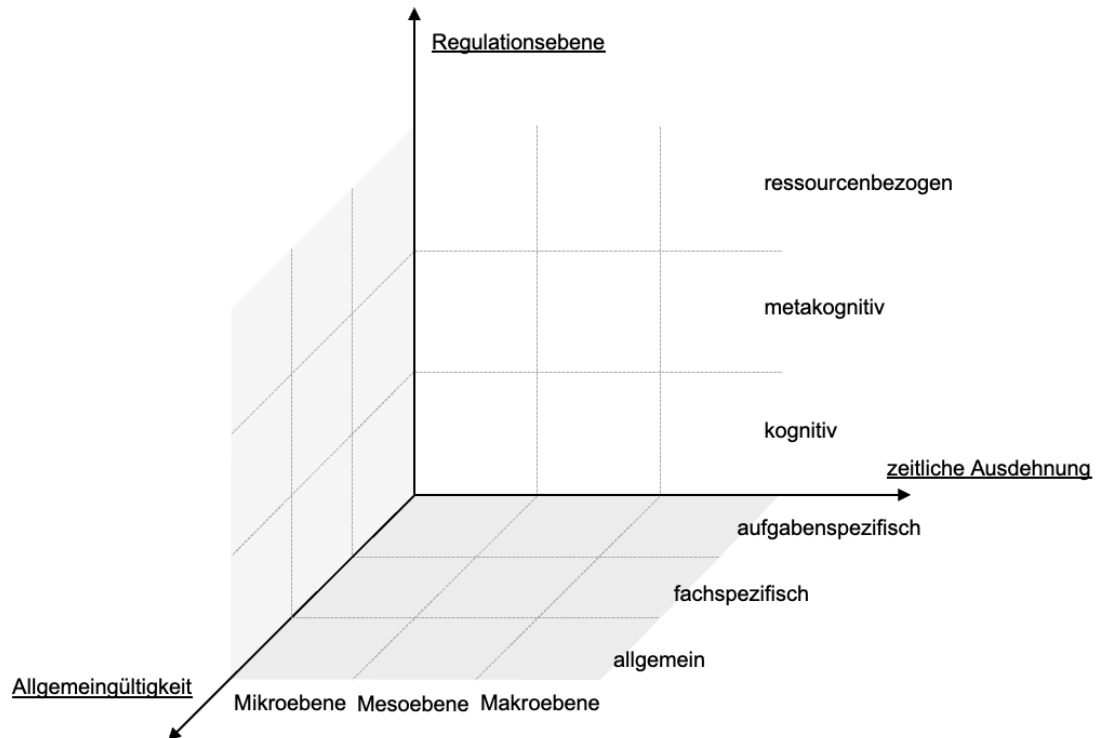
¹² Um die Dimension der zeitlichen Unterteilung der Anwendung von Lern- und Regulationsstrategien von den Lern- und Regulationsstrategien und deren Klassifikation abzugrenzen und so die übergreifende Klassifikation des zeitlichen Rahmens mittels Makro-, Meso- und Mikrostrategien zu verdeutlichen, wird im Weiteren im Zusammenhang mit der Unterteilung von Strategien in Makro-, Meso- und Mikrostrategien nicht von „Strategien“, sondern von „Ebenen“ gesprochen. So wird bspw. die Formulierung „metakognitiven Strategien als Makrostrategien“, durch „metakognitiven Strategien auf Makroebene“ ersetzt.

(bspw. Nutzen eines Kraft-, Energie- oder Impulsansatzes; Pandikow & von Aufschnaiter, 2020). Unter den aufgabenspezifischen Strategien versteht Klauer (1988) bestimmte Strategien zur Lösung einer Aufgabe wie bspw. dem Problem „Türme von Hanoi“. Die Betrachtung der Allgemeingültigkeit der Anwendung einer Lern- oder Regulationsstrategie kann zusätzlich zu den bereits erläuterten Dimensionen der Klassifizierung helfen, zwischen allgemeinen, fachspezifischen und aufgabenspezifischen Lern- und Regulationsstrategien zu unterscheiden (Dimension 3, siehe Abbildung 5). Während die Strategie der Wahl eines Kraft-, Impuls- oder Energieansatzes zur Lösung einer Physikaufgabe (vgl. Giancoli, 2010; Pandikow & von Aufschnaiter, 2020) einer physikspezifischen Strategie zugeordnet werden kann, kann die Strategie des Notizenmachens in allen Fächern genutzt werden. Analog können Regulationsstrategien wie u. a. das Setzen von Zielen aufgabenspezifisch (Lösen einer bestimmten Aufgabe) als auch allgemein sein (erfolgreiches Absolvieren der nächsten Prüfung).

Die unterschiedlichen Dimensionen zur Spezifizierung von Lern- und Regulationsstrategien können durch drei Achsen dargestellt werden, die einen dreidimensionalen Raum aufspannen (siehe Abbildung 5). Während eine Achse die Regulationsebene darstellt (kognitive, metakognitive oder ressourcenbezogene Regulation), stellt die zweite und dritte Achse die zeitliche Ausdehnung der Anwendung von Lern- und Regulationsstrategien (Makro-, Meso- und Mikroebene) und die Allgemeingültigkeit der Anwendung der Lern- oder Regulationsstrategie (allgemein, fachspezifisch, aufgabenspezifisch) dar. Die Einordnung von Strategien in den hier aufgespannten Raum kann insbesondere in Anbetracht theoretischer Überlegungen zu unterschiedlichen Facetten der in der vorliegenden Arbeit modellierten SRL-Kompetenz und deren Zusammenhang zum Verständnis einer Erfassung der Kompetenz der Lernenden beitragen. Während beispielsweise die Erfassung allgemeiner metakognitiver Strategien auf Makroebene (wie bspw. die allgemeine Zielsetzung oder die Motivation der Lernenden während des Lernens) primär fachunabhängig stattfinden kann, basiert eine Erfassung von kognitiven aufgaben- oder fachspezifischen Strategien auf Mikroebene auf den fachspezifischen Inhalten der einer Untersuchung zu Grunde liegenden Lernmaterialien.

Abbildung 5

Darstellung der Klassifikation von Lernstrategien in Verbindung mit dem SRL



2.2.2 Regulationsstrategien

Im Prozess des SRL gilt die Regulation von Emotion und Motivation als ein wesentlicher Teilprozess (vgl. Frenzel et al., 2015; Hascher, 2005; Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018). Während unter der Emotionsregulation die Fähigkeit verstanden wird, emotionale Reaktionen zu überwachen, zu bewerten und nach Maßgabe eines gesetzten Ziels verändern zu können (vgl. Thompson, 1994), wird unter der Motivationsregulation der Einsatz von motivationalen Strategien verstanden, die das Erhöhen der eigenen Anstrengung oder der Persistenz bei der Bearbeitung von Aufgaben intendieren (vgl. Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018). Emotionsregulation und Motivationsregulation sind im Vergleich zu kognitiven Lernstrategien nicht kontinuierlich im Lernprozess durchzuführen, sondern werden primär an denjenigen Stellen im Lernprozess relevant, an denen der vergangene Lernprozess evaluiert wird (vgl. Rheinberg, 1999). Bei der Evaluation kann es sich bspw. um einen Abgleich des Status Quo mit den eigenen Zielen zum Verstehen eines bestimmten Themas (kognitiv, fachspezifisch, Mesoebene) als auch mit übererdauernden Zielen (kognitiv, fachspezifisch/allgemein, Makroebene) handeln.

Abhängig von den Erwartungen der Lernenden werden innerhalb der Evaluation *Emotionen* ausgelöst (vgl. Stiensmeier-Pelster & Schwinger, 2008) und nach den Ursachen für das Ergebnis gesucht (*Kausalattribution*; Weiner, 1985). Eine ungünstige Ursachenzuschreibung kann nicht nur Auswirkungen bezüglich der Emotion und der Motivation der Lernenden haben und bspw. zu einer Verringerung der Anstrengungs- oder Aufmerksamkeitsbereitschaft führen, sondern darüber hinaus auch zu einer Selbstwertbedrohung. Einer solchen Selbstwertbedrohung wird in Anbetracht des Lernprozesses und der Verwendung von Lernstrategien eine zentrale Rolle zugeschrieben (Schwinger, 2008). Da ein ausgeglichener Selbstwert als menschliches Grundbedürfnis betrachtet wird (Schwinger, 2008), wird im Falle einer Selbstwertbedrohung der Selbstwertregulation eine primäre Relevanz zugeschrieben: „Die Person steigt aus dem Selbstregulationsprozess aus und schaltet stattdessen auf die Regulation des Selbstwertes um“ (Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018, S. 586). Während der Regulation des Selbstwertes ist ein Einsatz von kognitiven oder metakognitiven Lernstrategien sowie allgemein das SRL kaum möglich (vgl. Frenzel et al., 2015; Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018). Die notwendige Bedingung eines nicht bedrohten Selbstwertes für das zielförderliche SRL begründet daher die hierarchische Anordnung der kognitiven, metakognitiven und ressourcenbezogenen Lern- und Regulationsstrategien im „Drei-Schichten-Modell“ von Boekaerts (1999). Mögliche Regulationsstrategien bzw. ressourcenbezogenen Strategien zur Regulation des Selbstwertes sind u. a. der Substanzmissbrauch, der defensive Pessimismus oder das systematische Verzerrern der für Leistungen verantwortlichen Ursachen (zsf. Schwinger, 2008).

Auch wenn in der hier vorliegenden Arbeit die Regulation der Motivation, der Emotion oder des Selbstwertes berücksichtigt wird, liegt der Schwerpunkt der Arbeit auf den kognitiven und metakognitiven Lernstrategien in Verbindung mit der modellierten SRL-Kompetenz. Weiterführende Informationen zur Motivations-, Emotions- oder Selbstwertregulation u. a. auch innerhalb des SRL sind in Arbeiten von u. a. Eccles und Wigfield (2002), Frenzel et al. (2015), Hascher (2005), Stark (2016), Stiensmeier-Pelster und Otterpohl (2018) oder Tulis (2010) zu finden.

2.3 Zusammenfassung

SRL wird als ein für das selbstbestimmte Lernen relevantes Konstrukt angesehen, dessen Definitionen und zugehörige Operationalisierungen jedoch durch eine große Vielfalt gekennzeichnet ist. Eine typische Unterscheidung in der Operationalisierung und Modellierung des SRL ist die Unterscheidung in SRL als eine kontextunabhängige Fähigkeit mit zugehörigen Wissensbeständen (insbesondere aufgelöst in Komponentenmodelle) und SRL als ein kontextabhängiger Prozess (insbesondere aufgelöst in Prozessmodelle). Die Verbindung zwischen beiden Operationalisierungen sowie damit verbunden von Aspekten aus Komponenten- und Prozessmodellen lässt sich über die Auffassung von SRL als Kompetenz im Sinne von Blömeke et al. (2015) herstellen, die Kompetenz als Kontinuum zwischen Disposition, situationsspezifischen Fähigkeiten und Performanz beschreiben. Während Komponentenmodelle und die Operationalisierung des SRL als kontextunabhängige Fähigkeit zur Auflösung der dispositionellen Facette der Kompetenz beitragen können, können die in Prozessmodellen beschriebenen Prozesse und Verhaltensweisen die Facette der Performanz genauer beleuchten.

Immanenter Bestandteil des SRL sind Lern- und Regulationsstrategien. Während die Regulation der Emotion und Motivation nicht nur wesentlicher Bestandteil des SRL ist, sondern darüber hinaus auch als Voraussetzung des SRL betrachtet werden kann, können beim SRL zudem unterschiedliche Lernstrategien eingesetzt werden. Dabei müssen Lernende über Wissen zu Lern- und Regulationsstrategien verfügen (Facette der Disposition), dieses Wissen bei der Bearbeitung von Inhalten anwenden können (Facette der situationsspezifischen Fähigkeiten) und nach den Prozessen des Wahrnehmens, Interpretierens und Entscheidens ihr Wissen handlungswirksam einsetzen können (Facette der Performanz).

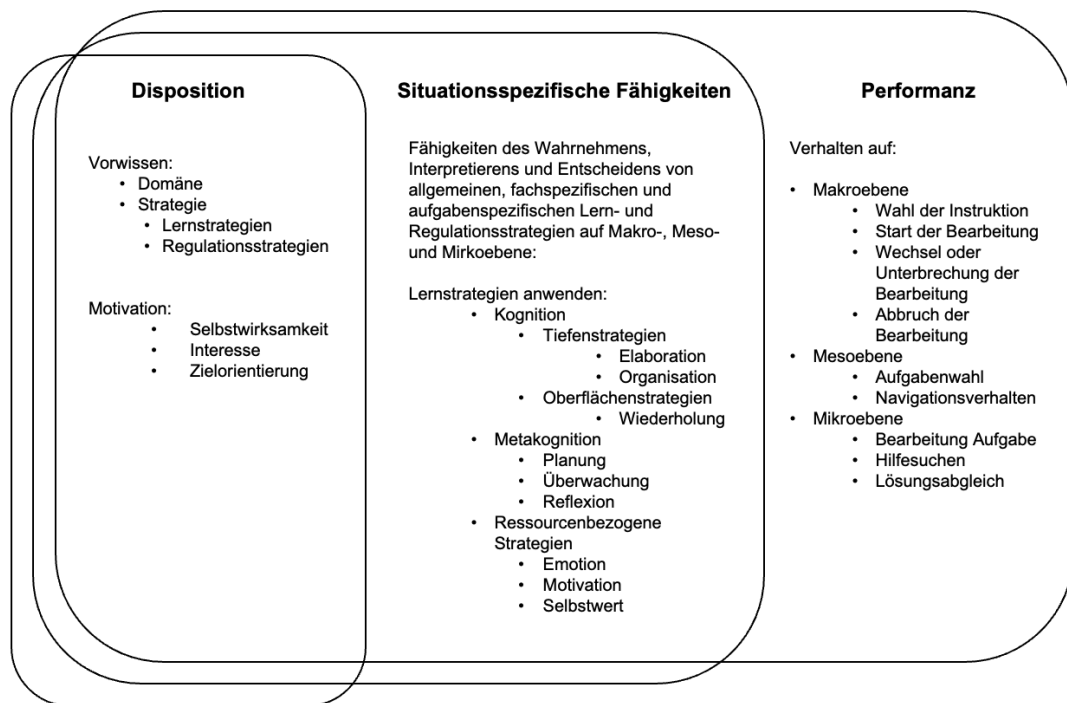
Eine differenzierte Unterscheidung von Lernstrategien ist nicht nur auf eine vielfältige Weise möglich, sondern insbesondere für eine Spezifizierung des SRL und eine Verbindung der in der vorliegenden Arbeit modellierten unterschiedlichen Facetten der SRL-Kompetenz hilfreich. Die drei gewählten Klassifikationen in kognitive, metakognitive und ressourcenbezogene Strategien (Dimension 1), Mikro-, Meso- und Makroebene (Dimension 2) und allgemeine, fachspezifische und aufgabenspezifische Strategien (Dimension 3) spannen einen dreidimensionalen Raum zur Spezifizierung von Untersuchungen zum SRL auf. Während eine Untersuchung von allgemeinen ressourcenbezogenen Strategien auf Mikro-, Meso- und Makroebene eher innerhalb der Psychologie zu verorten ist, ist eine Untersuchung der kognitiven aufgaben- oder

fachspezifischen Strategien auf einer der genannten Ebenen eher innerhalb der Lernumgebung zu Grunde liegenden Fachs zu verorten.

Einen Überblick über die im Rahmen der Arbeit getroffene Unterscheidung und Zuweisung in das Kompetenzmodell in Anlehnung an Blömeke et al. (2015) sind in Abbildung 6 dargestellt und dabei um die in diesem Kapitel erläuterten Modelle zum SRL sowie die Klassifizierungen von Lern- und Regulationsstrategien (siehe Abbildung 5) erweitert.

Abbildung 6

Modellierung der SRL-Kompetenz als Kontinuum mit Berücksichtigung von Lern- und Regulationsstrategien



Anmerkung. In Anlehnung an Blömeke et al. (2015)

2.4 Stand der Forschung zum selbstregulierten Lernen in digitalen Lernumgebungen

In die in Kapitel 2.1 gegebene Differenzierung der SRL-Kompetenz in die Facetten der Disposition, der situationsspezifischen Fähigkeiten und der Performanz, sowie der in Kapitel 2.2 dargelegten Klassifikation von Lern- und Regulationsstrategien können bisherige Erkenntnisse zum SRL eingeordnet werden. Bei der Einordnung dieser Erkenntnisse mit dem Ziel der Ableitung von Konsequenzen für weiterführende Forschung ist der Aspekt der *Art der Lernumgebung* von besonderer Relevanz und wird daher zunächst im folgenden Abschnitt ausgeführt. Anschließend werden bisherige Erkenntnisse zum SRL den verschiedenen modellierten Facetten der SRL-Kompetenz zugeordnet und beschrieben.

Zusammenhang zwischen SRL und der Art der Lernumgebung

Je nach Gestaltung der Lernumgebung sind innerhalb des SRL unterschiedliche Strategien von unterschiedlicher Bedeutung. Unterschieden werden kann u. a. in *informationsbasierte* und *aufgabenbasierte Lernumgebungen* auf der einen sowie in *offene* und *linear gestaltete Lernumgebungen* auf der anderen Seite.¹³ Während beim SRL in jeder Art von Lernumgebung bestimmte Lern- und Regulationsstrategien angewendet werden können, müssen bestimmte Lern- und Regulationsstrategien bei der Bearbeitung einer offen angelegten Lernumgebung anders gewichtet werden als bei der Bearbeitung einer linear angelegten Lernumgebung. So müssen bspw. in offen angelegten Lernumgebungen auf Mesoebene eine Reihe von Regulationen in Planung, Überwachung und Reflexion durchgeführt werden, u. a. eine ständige Selbsteinschätzung und eine damit verbundene Wahl von passenden Inhalten und Aufgaben, die den Lernenden in linear angelegten Lernumgebungen durch die Gestaltung der Lernumgebung abgenommen werden. Die genaue Selbsteinschätzung und die daraus resultierende Wahl von Aufgaben ist jedoch schwierig (vgl. Bjork et al., 2013) und stellt die Lernenden vor Probleme (vgl. Azevedo et al., 2004; Kostons et al., 2012; Moos & Azevedo, 2008a; Shapiro, 2004). Sowohl die Selbsteinschätzung als auch die Wahl von passenden Aufgaben erfordert Vorwissen (Dunning et al., 2003; 2004) und hängt von einer Reihe von Dispositionen wie dem Fähigkeitsselbstkonzept (u. a. Stiensmeier-Pelster & Schöne, 2008), der Selbstwirksamkeit

¹³ Weitere Unterscheidungen wie bspw. die Unterscheidung in analoge und digitale Lernumgebungen sind u. a. bei Kerres (2018) zu finden.

(u. a. Bandura, 1997), der Selbstwertkontingenz und der Zielorientierung (Neuville et al., 2007) ab.

Offen angelegte Lernumgebungen stellen somit für die Lernenden eine größere Herausforderung an das SRL als linear angelegte Lernumgebungen (vgl. Winters et al., 2008). Eine Unterscheidung von informationsbasierten und aufgabenbasierten Lernumgebungen hat dagegen weniger Auswirkungen auf die Meso- als auf die Mikroebene des SRL. Während in informationsbasierten Lernumgebungen auf Mikroebene Inhalte primär organisiert, elaboriert oder wiederholt werden müssen, ist es innerhalb von aufgabenbasierten Lernumgebungen zudem wichtig, domänenspezifische Aufgaben zu bearbeiten und zu einer passenden Selbsteinschätzung der Angemessenheit eigener Lösungen zu gelangen.

Bisherige Forschungsarbeiten, in denen das SRL in Verbindung mit der Bearbeitung einer Lernumgebung untersucht wird, nehmen typischerweise informationsbasierte Lernumgebungen in den Blick (bspw. Azevedo et al., 2004; Azevedo et al., 2007; DiBenedetto & Zimmerman, 2010; Schleinschok et al., 2017; Winne & Hadwin, 2013). Vergleichsweise selten steht das SRL in aufgabenbasierten Lernumgebungen im Fokus von empirischen Untersuchungen. Gerade aufgabenbasierte Lernumgebungen sind jedoch für das Lernen sowohl aus lernpsychologischer als auch aus fachdidaktischer Sicht von großer Bedeutung. Sie fordern die Lernenden im Vergleich zur Bearbeitung einer informationsbasierten Lernumgebung nicht nur zu einer aktiveren Auseinandersetzung mit den Lerninhalten und einem Transfer des Wissens auf, sondern kontextualisieren u. a. die Lerninhalte und fördern die Problemlösekompetenz (vgl. Eitel, 2016; Hattie, 2009; Renkl & Atkinson, 2007; Renkl, 2017; Thonhauser, 2008; von Aufschnaiter & von Aufschnaiter, 2001). Während in informationsbasierten Lernumgebungen insbesondere allgemeine Strategien ausgewählt und angewendet werden können (vgl. Schiefele et al., 2003), sind bei der Bearbeitung von aufgabenbasierten Lernumgebungen primär fach- und aufgabenspezifische Strategien förderlich, die die Anwendung und Auseinandersetzung mit zentralen fachspezifischen Wissensständen erfordert (u. a. Corbalan et al., 2008; Thillmann et al., 2009).

Disposition

Arbeiten, die die dispositionelle Facette der SRL-Kompetenz fokussieren, ziehen häufig retrospektive Selbstberichte in Form von Fragebögen zum Einsatz von Lern- und Regulationsstrategien bei der Bearbeitung einer Lernumgebung heran und leiten basierend auf den Selbstberichten der Lernenden auf deren SRL ab. Im Gegensatz zu einer rein dispositionellen Erfassung des Wissens über Lern- und Regulationsstrategien, werden hier

Dispositionen und situationsspezifische Fähigkeiten vermischt. Selbstberichtete Lern- und Regulationsstrategien sind zudem häufig inkongruent zu den beim Lernen tatsächlich verwendeten Strategien (Foerst et al., 2017; Maldonado-Mahauad et al., 2018; van Halem et al., 2020). Aufgrund der Inkongruenz werden in der vorliegenden Arbeit Ergebnisse zu den über retrospektive Selbstberichte erfasste Lern- und Regulationsstrategien nicht der Facette der situationsspezifischen Fähigkeiten, sondern primär der Facette der Disposition der SRL-Kompetenz zugeordnet.

Durch die häufig in der Forschung zum SRL verwendete Methodik des Einsatzes von retrospektiven Selbstberichten (zsf. Endedijk et al., 2016), lassen sich so eine Reihe an unterschiedlichen Ergebnissen im Rahmen der dispositionellen Facette der SRL-Kompetenz berichten. Insbesondere die Unterteilung von Lernstrategien in kognitive, metakognitive und ressourcenbezogene Strategien sowie die Unterteilung in Tiefenstrategien und Oberflächenstrategien wurde von einer Reihe von Autorinnen und Autoren genutzt, um die selbstberichtete Anwendung dieser Lern- und Regulationsstrategien im Lernprozess zu weiteren Dispositionen der Lernenden zu setzen.¹⁴ So berichten bspw. lernzielorientierte Lernende von einer häufigeren Nutzung von kognitiven und metakognitiven Strategien (Ames & Archer, 1988; Meece et al., 1988; Middleton & Midgley, 1997; Pintrich, 1999; Wolters et al., 1996) und einer häufigeren Anwendung von Tiefenstrategien (Nolen, 1988; Pintrich & Garcia, 1991). Auch leistungszielorientierte Lernende berichten von der Nutzung von Tiefenstrategien (Ames & Archer, 1988; Meece et al., 1988; Pintrich & DeGroot, 1990; Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1993; Wolters et al., 1996), gleichzeitig aber schildern sie eine häufigere Nutzung von Oberflächenstrategien im Vergleich zu lernzielorientierten Lernenden (Pintrich & Garcia, 1991; Pintrich et al., 1993). Ähnliche Ergebnisse lassen sich in Verbindung mit der Selbstwirksamkeit finden: Lernende mit einer höheren Selbstwirksamkeit berichten häufiger über kognitive Lernstrategien und Tiefenstrategien (Artino & Jones, 2012; Lee & Watson, 2020; Pintrich, 1990; Zimmerman, 2000), über eine häufigere Nutzung von Strategien zum Zeitmanagement (Britton & Tesser, 1991) und über eine bessere Persistenz (Zimmerman & Ringle, 1981). Zudem wird die Nutzung von Tiefenstrategien mit höherem Interesse (Pintrich et al., 1993), einer höheren intrinsischen Motivation (McCann & Turner, 2004) und positiven Emotionen im Lernprozess (Grieder, 2006) in Verbindung gebracht. Die Nutzung

¹⁴ Die hier aufgeführten Erkenntnisse im Bereich der dem SRL zu Grunde liegenden Dispositionen stellen nur einen sehr geringen Teil der Erkenntnisse aus der Literatur dar. Durch die häufige Erfassung des SRL mittels Fragebogen lassen sich eine Vielzahl an Ergebnissen in der Literatur finden, die ihm Rahmen der vorliegenden Arbeit den Dispositionen zugeordnet werden könnten.

von Oberflächenstrategien steht dagegen im Zusammenhang mit einer hohen Selbstwertkontingenz (Opelt & Schwinger, 2017), niedrigem Interesse (Pintrich et al., 1993) und negativen Emotionen (Grieder, 2006). Lernende, die über eine größere Zahl der Nutzung von Lernstrategien des SRL berichten, haben ein größeres Vorwissen, erreichen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit die Kursziele (Kizilcec et al., 2017) und schreiben bessere Noten in zugehörigen Abschlussprüfungen (Broadbent, 2017; Broadbent & Poon, 2015; Sebasta & Bray-Speth 2017).

Bei der Betrachtung der bisherigen Erkenntnisse zu der von den Lernenden retrospektiv selbstberichteten Strategien bei der Bearbeitung einer Lernumgebung und den Dispositionen der Lernenden scheinen gerade als typisch lerngünstig angenommene dispositionelle Voraussetzungen mit einer häufigeren Nutzung von Lern- und Regulationsstrategien (insbesondere Tiefenstrategien) zusammenzuhängen. Dennoch ist aufgrund der Erkenntnisse bezüglich der Inkongruenz zwischen den von Lernenden retrospektiv berichteten Lernstrategien und den tatsächlich im Lernprozess angewendeten Strategien unklar, ob lerngünstigere Voraussetzungen auch die tatsächliche Strategienutzung im Lernprozess begünstigen.

Performanz

Erkenntnisse zur Performanz von Lernenden bei der Bearbeitung einer Lernumgebung existieren vielzählig. Inwiefern das Verhalten der Lernenden das Ergebnis eines absichtsvollen oder intuitiven Regulationsprozesses darstellt oder zufällig ist, ist nicht oder nur schwer durch den ausschließlichen Blick auf die Performanz der Lernenden zu klären. Dennoch: Bestimmte Verhaltensmuster können effektiv Lernende kennzeichnen. Aus der Vielzahl von performatorischen Beobachtungen des Lernprozesses werden im Folgenden diejenigen berichtet, die ausschließlich der Facette der Performanz zuzuordnen sind und in direkter Verbindung mit dem SRL stehen.

Cicchinelli et al. (2018) sowie Bannert et al. (2014) stellen bei der Erfassung der Performanz der Lernenden in Verbindung mit dem SRL fest, dass Lernende, die mehr Zeit innerhalb einer Lernumgebung verbringen, bessere Leistungen in anschließenden Tests zeigen. Darüber hinaus korreliert die durchschnittliche Zeit des Planens und Überwachens der eigenen Lernaktivitäten¹⁵ sowie die durchschnittliche Anzahl an Zugriffen auf die Lernumgebung mit positiven Leistungen der Lernenden (vgl. Bannert et al., 2014;

¹⁵ Die durchschnittliche Zeit des Planens und Überwachens der eigenen Lernaktivität wurde hier über die durchschnittliche Zeit der Lernenden auf Seiten bspw. zur Übersicht über verschiedene Inhalte der zu Grunde liegenden Lernumgebung erfasst.

Cicchinelli et al., 2018; Gasevic et al., 2014). Zudem zeigen Lernende, die im Lernprozess eher nach Hilfe suchen, bessere Leistungen in folgenden Tests (Rausch, 2018). Weitere Erkenntnisse zur Performanz der Lernenden werden in der Regel nicht mit der Leistung der Lernenden oder deren Lernerfolg verbunden, sondern vielmehr mit den Dispositionen der Lernenden. Auch, wenn sich nur in wenigen Arbeiten eine solche Verbindung zwischen den Facetten der SRL-Kompetenz finden, werden im folgenden Abschnitt bereits einige Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen diesen aufgeführt.

Zusammenhang von Dispositionen, situationsspezifischen Fähigkeiten und Performanz

Die in der vorliegenden Arbeit modellierte SRL-Kompetenz und damit die Differenzierung der Kompetenz in die Facetten der Disposition, der situationsspezifischen Fähigkeiten und der Performanz findet sich zwar bisher nicht in theoretischen Überlegungen zum SRL, dennoch können Erkenntnisse aus verschiedenen Arbeiten zur Beschreibung des Zusammenhangs auf die hier modellierte SRL-Kompetenz übertragen werden.

Die ausschließlich aus retrospektiven Selbstberichten abgeleiteten Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen der von den Lernenden berichteten Strategienutzung und dem Vorwissen konnten z. T. über Verhaltensbeobachtungen bestätigt werden. So deuteten Moos und Azevedo (2008a) sowie Taub et al. (2014) das Verhalten von Lernenden in Verbindung mit deren Vorwissen innerhalb einer digitalen Lernumgebung so, dass Lernende mit einem höheren Vorwissen häufiger metakognitive Strategien nutzen. Lernende mit einem geringeren Vorwissen dagegen nutzen zwar häufiger kognitive Strategien (Taub et al., 2014), dabei jedoch nur eine Auswahl von wenigen spezifischen Strategien wie dem Zusammenfassen oder dem Notizenmachen (Moos & Azevedo, 2008a). Bannert et al. (2014) sowie Lawanto et al. (2014) bestätigen, dass ein häufigeres regulatives Verhalten und das Bearbeiten der Lerninhalte im Sinne von Tiefenstrategien in informationsbasierten Lernumgebungen mit einem höheren Lernerfolg zusammenhängen. Wenig erfolgreich Lernende zeigen weniger Aktivitäten mit der Lernumgebung und weniger regulatives Verhalten (Bannert et al., 2014). Negative Emotionen wie Frustration stehen in Verbindung mit einer weniger häufigeren Nutzung von kognitiven Lernstrategien (Taub et al., 2021).

Basierend auf dem Lernverhalten können mit Hilfe von Profil- und Musteranalysen aus dem Bereich Learning Analytics verschiedene Bearbeitungs- und Verhaltensmuster der Lernenden detektiert und mit SRL-Strategien in Verbindung gebracht werden. So stellen Beheshitha et al. (2015) fest, dass Lernende, die eher von der Nutzung von Tiefenstrategien

als von Oberflächenstrategien berichten, selektiver innerhalb einer informationsbasierten Lernumgebung vorgehen und komplexere Verhaltensmuster zeigen als Lernende, die häufiger von der Nutzung von Oberflächenstrategien berichten. Lernende, die von einer verstärkten Nutzung von SRL-Strategien berichten, neigen zudem dazu, Kursmaterialien erneut aufzusuchen (Kizilcec et al., 2017). Diese Ergebnisse decken sich mit Ergebnissen einer Reihe weiterer Arbeiten, in denen Studierende basierend auf ihren Angaben zur Nutzung von SRL-Strategien und ihrem Verhalten innerhalb einer Lernumgebung in verschiedene Gruppen unterteilt wurden. Dabei ist eine Aggregation von gleichen Verhaltensmustern zwar nicht leicht, denn Lernende weisen eine hohe Variation ihrer Lern- und Regulationsaktivitäten auf (vgl. Hadwin et al., 2007), dennoch lassen sich einzelne Gruppen finden. Unterschieden werden kann bspw. in Lernende mit einem hohen SRL-Profil,¹⁶ die dazu neigen, der Kursstruktur zu folgen, Lernende mit einem hohen SRL-Profil, die strategisch nach spezifischen Informationen suchen, Lernende mit einem niedrigen SRL-Profil, die sich unregelmäßig verhalten und Lernende mit niedrigem SRL-Profil, die der Kursstruktur folgen (vgl. Littlejohn et al., 2016; Maldonado-Mahauad et al., 2018). Ein hohes SRL-Profil geht einerseits mit der häufigeren und längeren Nutzung einer informationsbasierten Lernumgebung einher (Abar & Loken, 2010; Li & Tsai, 2017; Pardo et al., 2017), andererseits mit besseren Leistungen und einem höheren Lernerfolg (Barnard-Brak et al., 2010; Dörrenbächer & Perels, 2016).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass einerseits kaum Ergebnisse zum SRL in aufgabenbasierten Lernumgebungen vorliegen, obwohl die Lehr-/ Lernforschung die Relevanz eigenständiger Bearbeitung von Aufgaben betont (vgl. Fischer & Draxler, 2001; Kühn, 2011; von Aufschnaiter & von Aufschnaiter, 2001) und diese Arbeitsweise zudem typisch insbesondere für ein naturwissenschaftliches Studium ist (z. B. regelmäßige Bearbeitung von Übungsaufgaben; vgl. Haak, 2016). Andererseits gibt es zwar Erkenntnisse zur fehlenden Passung von selbstberichteten Strategien (i. S. von Dispositionen, vgl. Abbildung 6, links) und auch zu performatorischem Verhalten (vgl. Abbildung 6, rechts), das als ein Ergebnis angenommener Regulationsmechanismen gedeutet wird (situationsspezifische Fähigkeiten, vgl. Abbildung 6, Mitte), der Forschungsstand ist aber noch wenig ausgebaut. Dieses Desiderat gilt umso mehr, als dass es sich in den untersuchten Lernumgebungen oft um lineare Umgebungen handelt, die die Lernenden in einem nicht unerheblichen Teil regulativer Prozesse durch die

¹⁶ Die SRL-Profile wurden in den hier aufgeführten Arbeiten u. a. basierend auf der retrospektiv berichteten Strategienutzung der Lernenden bei der Bearbeitung einer Lernumgebung gebildet.

Vorstrukturierung entlasten. Eine solche Entlastung entspricht aber nicht der Realität selbstbestimmter Lernprozesse, in denen die Lernenden oft auch mit komplexeren Situationen konfrontiert sind (z. B. verschiedene Quellen nutzen zu müssen, um Aufgaben mit Problemcharakter lösen zu können).

3 Forschungsfragen

Forschungsarbeiten zum SRL befassen sich bisher primär mit den Dispositionen von Lernenden, während die Performanz oder die situationsspezifischen Fähigkeiten eher selten in den Blick genommen werden (siehe Kapitel 2). Wird auf die Performanz fokussiert, dann wird diese häufig über retrospektive Selbstberichte zu beim Lernen verwendeten Lern- und Regulationsstrategien angenähert (zsf. Endedijk et al., 2016). Solche Annäherungen führten zwar bereits zu einer Reihe an Erkenntnissen zum SRL, es zeichnet sich jedoch gleichzeitig ab, dass Selbstberichte und tatsächliche Handlungen während der Bearbeitung z. T. deutlich voneinander abweichen (Foerst et al., 2017; Maldonado-Mahauad et al., 2018; van Halem et al., 2020). Um diese Herausforderung zu adressieren und die SRL-Prozesse genauer zu erfassen, werden in aktuellen Arbeiten verstärkt innerhalb von digitalen Lernumgebungen Verhaltensbeobachtungen (z. B. über Logfiles oder Bildschirmaufzeichnungen) genutzt, mit denen die tatsächlichen Bearbeitungsprozesse erfasst und untersucht werden können (vgl. Kizilcec et al., 2017; van Halem et al., 2020; Winne, 2010). Diese Arbeiten fokussieren dabei in der Regel auf linear angelegte und informationsbasierte Lernumgebungen (vgl. Azevedo et al., 2004; 2007; DiBenedetto & Zimmermann, 2010; Schleinschok et al., 2017; Winne & Hadwin, 2013). Befunde daraus liefern zwar bereits wichtige Hinweise, wie u. a., dass die Bearbeitungsprozesse einer solchen Lernumgebung eng mit dem Lernerfolg zusammenhängen (vgl. DiBenedetto & Zimmermann, 2010), es ist jedoch unklar, inwiefern sich diese Erkenntnisse auf offene, aufgabenbasierte, digitale Lernumgebungen übertragen lassen. Gerade offene und aufgabenbasierte Lernumgebungen stellen spezifische Anforderungen an die Regulation u. a. auf fachspezifischer Makroebene des SRL (z. B. die Wahl von zum eigenen Wissensstand passenden Inhalten; siehe Kapitel 2.3).

Um Erkenntnisse zur Bearbeitung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung gewinnen zu können, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens eine solche Lernumgebung entwickelt. Diese sollte einerseits zur Erfassung von Bearbeitungsprozessen des SRL im Rahmen der vorliegenden Arbeit sowie den damit

verbundenen weiteren Arbeiten im DFG-Projekt¹⁷ genutzt werden. Andererseits soll die Lernumgebung langfristig für Studienanfängerinnen und Studienanfänger zur Vorbereitung auf das Physikstudium bzw. auf Physikinhalt ihres Studiums zur Verfügung gestellt werden. Basierend auf einer Web-Site (um den Zugriff auf die Lernumgebung auch von außerhalb des universitären Netzwerkes gewährleisten zu können) sollen so verschiedene Inhalte der Mechanik insbesondere in Form von Aufgaben (zudem u. a. auch in Form von Instruktionen) präsentiert werden, zwischen denen die Lernenden ohne Vorgabe einer Reihenfolge navigieren können. Gleichzeitig muss die Lernumgebung den Ansprüchen einer umfassenden Erfassung der Bearbeitungsprozesse der Lernenden genügen, sodass basierend auf den Bearbeitungsprozessen innerhalb der Lernumgebung Erkenntnisse zum SRL gewonnen werden können. Es muss deshalb möglich sein, das Navigationsverhalten der Lernenden sowie die verschiedenen Aufgabenlösungen zur Rekonstruktion der Bearbeitung zu erfassen (der genaue Aufbau der entwickelten Lernumgebung wird in Kapitel 4 beschrieben).

Durch die Erfassung der Bearbeitungsprozesse bzw. der Performanz der Lernenden wird zunächst der Zusammenhang zwischen den Dispositionen der Lernenden und deren Lernerfolg in den Blick genommen (FF1). Anschließend wird auf die Performanz der Lernenden fokussiert (FF2), ehe der Zusammenhang zwischen den Dispositionen der Lernenden, der Performanz bei der Bearbeitung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung und dem Lernerfolg untersucht wird (FF3).

Forschungskomplex I (Dispositionen und Lernerfolg)

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, ist davon auszugehen, dass das Gelingen von SRL und damit verbunden der Lernerfolg bei der selbstständigen Bearbeitung einer Lernumgebung von den Dispositionen der Lernenden abhängt. Insbesondere das Vorwissen der Lernenden hat in Verbindung mit dem SRL einen zentralen Einfluss. So erreichen Lernende in Phasen des SRL mit einem höheren Vorwissen mit einer höheren

¹⁷ Die vorliegende Arbeit adressiert als ein Teil des DFG-Projekts zur Untersuchung von Prozessen der Selbstregulation bei der Bearbeitung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung im Physikstudium insbesondere den durch den in Abbildung 5 aufgespannten Raum der kognitiven und fachspezifischen Strategien der Meso- und Makroebene. Die Forschungsarbeit von Kienitz (in Vorbereitung) befasst sich primär mit den allgemeinen, kognitiven, metakognitiven und ressourcenbezogenen Strategien aus pädagogisch-psychologischer Sicht, die Arbeit von Weckler (in Vorbereitung) mit kognitiven, fach- und aufgabenspezifischen Strategien auf Mikro- und Mesoebene.

Wahrscheinlichkeit die Kursziele oder schreiben bessere Prüfungen im Anschluss an das SRL (vgl. Broadbent, 2017; Broadbent & Poon, 2015; Kizilcec et al., 2017). Darüber hinaus stellen sich auch weitere dispositionelle Ausprägungen wie u. a. die Selbstwirksamkeit, die Zielorientierung, die Selbstwertkontingenz oder das Fähigkeitsselbstkonzept der Lernenden als für das SRL relevant heraus (vgl. Breker, 2016; DiBenedetto & Zimmermann, 2010; Opelt & Schwinger, 2017; Taub et al., 2014). In der Arbeit wurde daher der Zusammenhang zwischen den Dispositionen der Lernenden und dem in Zusammenhang mit der Bearbeitung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung entstehenden Lernerfolg genauer untersucht.

FF1: Inwiefern hängen die Dispositionen von Lernenden mit dem im Zusammenhang mit der Bearbeitung einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung entstehenden Lernerfolg zusammen?

Forschungskomplex II (Performanz)

Ausgehend von den in Kapitel 2 dargelegten Befunden zur Inkongruenz zwischen den von den Lernenden berichteten und den tatsächlich im Bearbeitungsprozess beobachteten Lern- und Regulationsstrategien (vgl. Foerst et al., 2017; Hadwin et al., 2007; Maldonado-Mahauad et al., 2018; van Halem et al., 2020), wird im Rahmen des zweiten Forschungskomplexes analysiert, inwiefern Lernende die verschiedenen Inhalte und Aufgabentypen in einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung bearbeiten (Facette der Performanz). Im Gegensatz zu einer Reihe von bisherigen Arbeiten wird dabei ausschließlich das beobachtbare Verhalten (durch Logfiles, Bildschirmaufzeichnungen etc.) der Lernenden explorativ ohne den interpretativen Schritt der Zuschreibung von verschiedenen theoretisch angenommenen Lern- und Regulationsstrategien zu diesem Verhalten untersucht. Durch die reine Beschreibung des Verhaltens der Lernenden soll hier einerseits der Fokus auf die Facette der Performanz und nicht direkt auf die Verbindung zu möglicherweise situationsspezifischen Fähigkeiten oder der Disposition gelegt werden. Andererseits soll die Vergleichbarkeit von Erkenntnissen zur Performanz für weitere Untersuchungen (u. a. Kienitz, in Vorbereitung; Weckler, in Vorbereitung) bei der Bearbeitung der Lernumgebung ohne möglicherweise interpretative Verzerrungen der Ergebnisse gewährleistet werden. Denn wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, ist eine Annäherung an möglicherweise genutzte Lern- und Regulationsstrategien nur unter Berücksichtigung des Wissens der Lernenden über verschiedene Lern- und

Regulationsstrategien sowie über die von Lernenden nach dem SRL berichtete Nutzung dieser möglich (vgl. Kapitel 2).

Es ist davon auszugehen, dass unterschiedliche Verhaltensweisen der Lernenden für verschiedene Lernende unterschiedlich effektiv sind (vgl. Atkinson et al., 2000; Koedinger et al., 2015; van Gog & Rummel; 2010). Um die unterschiedlichen Bearbeitungsprozesse der Lernenden (z. B. unterschiedliches Navigationsverhalten) differenziert untersuchen und in einem weiteren Schritt (siehe FF3) in Zusammenhang mit den Dispositionen und dem Lernerfolg setzen zu können, werden hier die bereits häufig in der Literatur genutzten Clusteranalysen (siehe Kapitel 2.3) zur Separation von Verhaltensweisen und Bildung von Verhaltensgruppen herangezogen (vgl. Beheshitha et al., 2015; Kizilcec et al., 2017; Pardo et al., 2017). Entsprechende Gruppen könnten sich z. B. auf vorhandene oder fehlende Linearität der Bearbeitung (u. a. Chen & Macredie, 2010; Iske, 2008; MacGregor, 1999) oder auf verschiedene Muster bei der Bearbeitung von Inhalten (u. a. Paans et al., 2020) beziehen.

FF2: Inwiefern lassen sich verschiedene Gruppen in den Bearbeitungsprozessen der Lernenden finden?

Forschungskomplex III (Zusammenhang zwischen Dispositionen, Performanz und Lernerfolg)

Innerhalb des dritten Forschungskomplexes werden die Erkenntnisse zu den Dispositionen und dem Lernerfolg der Lernenden (FF1) sowie deren Performanz (FF2) miteinander verbunden. Ohne den unter FF2 vorgenommenen interpretativen Schritt der Zuschreibung von theorisierten Lern- und Regulationsstrategien zum Verhalten der Lernenden wird hier demnach die in Kapitel 2 beschriebene Verbindung zwischen der Facette der Disposition und der Facette der Performanz hergestellt.

FF3: Inwiefern hängen die Dispositionen der Lernenden mit den Bearbeitungsprozessen in einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung und dem Lernerfolg in Zusammenhang mit der Bearbeitung dieser Lernumgebung zusammen?

4 Methoden

Der Fokus des Forschungsprojektes liegt auf der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Dispositionen und Performanz beim SRL in einer offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung (oadL). Dazu wurden angehende Studierende im Rahmen eines dreitägigen Vorkurses zur Mechanik aufgefordert, Befragungen und Tests auszufüllen (Erfassung der Dispositionen). Die Prozesse der Bearbeitung der oadL wurden zudem mithilfe von Logfiles aufgezeichnet (Erfassung der Performanz), so dass beide Datenquellen aufeinander bezogen werden konnten. In Tabelle 2 findet sich einen Überblick über alle eingesetzten Instrumente sowie alle während der Bearbeitung der oadL erhobenen Daten.

Tabelle 2

Übersicht über die erfassten Konstrukte und die erfasste Performanz der Lernenden

Erfasste Variable	Eingesetzter Fragebogen / Art der Erfassung	Zeitpunkt der Erfassung
Demo-graphie		Prä
Fachwissen Mechanik	Fachwissen Mechanik zu Newtonsche Axiome 1–3 aus Just und von Aufschnaiter (2020)	Prä, Post
FSK	SESSKO (Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzeptes); adaptierte Version der Items aus der Skala der absoluten Bezugsnorm aus Schöne et al. (2002; 2012)	Prä
Ziel-O.	SELLMO (Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation); adaptierte Version der Items aus den Skalen der Lernzielorientierung, der Annäherungsleistungszielorientierung, der Vermeidungsleistungszielorientierung und der Arbeitsvermeidung aus Spinath et al. (2002; 2012)	Prä
Interesse	FSI (Fragebogen zum Studieninteresse); adaptierte Version der Items aus den Skalen der gefühlsbezogenen Valenz, der wertbezogenen Valenz und des intrinsischen Charakters aus Schiefele et al. (1993)	Prä
SW	Adaptierte Version der Items aus der Skala der Höhe der Selbstwirksamkeit aus Jerusalem und Satow (1999)	Prä

4 Methoden

Erfasste Variable	Eingesetzter Fragebogen / Art der Erfassung	Zeitpunkt der Erfassung
SWK	SEKJ (Selbstwertinventar für Kinder und Jugendliche); adaptierte Version der Items aus der Skala der Selbstwertkontingenz aus Schöne und Stiensmeier-Pelster (2016)	Prä
Lernstrategien	LIST (Lernstrategien im Studium); adaptierte Version der Items aus den Skalen zu Lernstrategien der Organisation, der Wiederholung, der metakognitiven Strategien, der Aufmerksamkeit, des Zeitmanagements und der Anstrengung aus Wild und Schiefele (1994)	Post
Navigation	Alle „Klicks“ der Lernenden, deren Zeitpunkt und der aufgerufene Inhalt werden innerhalb eines Logfiles gespeichert	kontinuierlich während der Bearbeitung
Lösungen	Alle von den Lernenden erstellten Lösungen werden per Screenshot gespeichert	kontinuierlich während der Bearbeitung
Testergebnisse	Alle Testergebnisse der Lernenden von fachinhaltlichen Tests werden innerhalb eines Dokuments gespeichert	nach Abschluss eines Tests ^a
Attribution	Adaptierte Version der Items aus den Skalen der Globalität, der Stabilität, der Kontrollierbarkeit und dem Lokus aus Dickhäuser (2001)	nach Abschluss eines Tests
Emotion	PANAVA-KS; adaptierte Version der Items aus den Skalen zur positiven Aktivierung, negativen Aktivierung und Valenz aus Schallenberger (2005)	nach Abschluss eines Tests
Selbsteinschätzung	Kurzbefragung zur Richtigkeit der eigenen Lösung	in regelmäßigen Intervallen während der Bearbeitung
Erleben	Kurzbefragung zur Passung von Inhalten, zur Herausforderung, zur Motivation, zum bisherigen Lernerfolg, zum Interesse und zum Spaß bei der Bearbeitung	in regelmäßigen Intervallen während der Bearbeitung

Anmerkung. Prä: Vor der ersten Bearbeitung der Lernumgebung, Post: Nach der letzten Bearbeitung der Lernumgebung, FSK: Fähigkeitsselbstkonzept, Ziel-O.: Zielorientierung, SW: Selbstwirksamkeit, SWK: Selbstwertkontingenz.

^a Tests, die innerhalb der Lernumgebung zur Überprüfung des eigenen Wissens ausgewählt werden können. Diese Tests entsprechen nicht dem Prä- und Posttest zur Erfassung des allgemeinen Verständnisses der Lernenden zur Mechanik.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst eingesetzte Instrumente und die für diese Arbeit zu Grunde liegende programmierte oadL vorgestellt (Kapitel 4.1 und 4.2). Anschließend wird ein Überblick über den Ablauf der Untersuchung und die Probanden gegeben (Kapitel 4.3 und 4.4). Es schließt sich dann ein Kapitel zur Auswertung der Daten an (Kapitel 5).

4.1 Befragungen und Tests

Im Folgenden werden die vor und nach der Bearbeitung der oadL eingesetzten Befragungen und Tests beschrieben.

Demographische Daten

Zur genaueren Beschreibung der Zusammensetzung des Samples wurden zu Beginn der Befragung verschiedene *demographische Merkmale* der Studienanfängerinnen und Studienanfänger erfasst. Teil dieser Erhebung waren neben dem Geschlecht und dem gewählten Studiengang (L2, L3, L5, Berufliche und Betriebliche Bildung, Bachelor Physik, Bachelor Materialwissenschaften, Bachelor Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen; siehe Anhang Abbildung B2) auch die Abiturnote der angehenden Studierenden.

Fachwissen

Zur Erfassung des *Vorwissens* der Lernenden im Bereich Mechanik sowie des *Lernerfolgs* zwischen Prä- und Posttest wurden verschiedene Versionen eines von Just und von Aufschnaiter (2020) entwickelten Testinstruments eingesetzt. Es handelt sich hierbei um ein bereits umfassend in der adressierten Zielgruppe erprobtes Instrument, welches inhaltlich gut zu den Inhalten der oadL passt. Das Instrument umfasst über 200 Ordered-Single-Choice-Aufgaben (angelehnt an die *Learning Progressions* von Alonzo & Steedle, 2009). Aus diesem Itempool wurden ausgehend von dokumentierten *Item-Kennwerten* (Just & von Aufschnaiter, 2020; Just et al., 2023) insgesamt 33 Items ausgewählt, die in vergleichbaren Stichproben gute *Fit-Werte* aufwiesen und mit denen sich ein möglichst breites *Fähigkeitsspektrum* erfassen lässt. Zur Reduzierung von Effekten wiederholter Testungen wurden für den Prä- und Posttest zwei teilweise unterschiedliche Testhefte mit jeweils 20 Items erstellt. Sieben über das gesamte *Schwierigkeitsspektrum* verteilte Items wurden in beiden Versionen des Testinstruments eingesetzt. Diese *Anchor-Items* wurden genutzt, um die beiden Testhefte im Zuge der *Rasch-Skalierung* miteinander zu verknüpfen und so in der Auswertung Prä- und Posttestwerte miteinander vergleichen zu können (vgl. Boone et al., 2014).

Fähigkeitsselbstkonzept

Das *Fähigkeitsselbstkonzept* (FSK) als ein Teil des allgemeinen Selbstkonzeptes umfasst die Gesamtheit der Gedanken über die eigenen Fähigkeiten (Stiensmeier-Pelster & Schöne, 2008). Die Ausprägung des Konstruktes entwickelt sich auf Basis von u. a. sozialen Einflussfaktoren (vgl. Dickhäuser & Stiensmeier-Pelster, 2003; Spinath, 2004) und vergangenen Lern- und Leistungserfahrungen (vgl. Helmke & van Aken, 1995). Durch den engen Zusammenhang zwischen dem FSK und der Wahl von Zielen und Aufgaben (Stiensmeier-Pelster & Schöne, 2008), dem Einsatz von Lernstrategien (vgl. Möller & Trautwein, 2009) und der Leistung (vgl. Hansford & Hattie, 1982; Möller et al., 2009) wird das FSK als eine wichtige Disposition Lernender bezüglich des SRL betrachtet und im Forschungsprojekt erfasst. Mittels dem von Schöne et al. (2002; 2012) entwickelten und vielfach erprobten Fragebogen SESSKO (SESSKO – Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzeptes) wurde über fünf Items, die jeweils eine siebenstufige Likert-Skala nutzen, das FSK der Lernenden erhoben. Zur Reduzierung des Umfangs der Erfassung dispositioneller Ausprägungen wurden ausschließlich Items aus der Skala zur absoluten Bezugsnorm (und keine Items aus den Skalen zur kriterialen, sozialen und individuellen Bezugsnorm) genutzt. Die sprachlichen Formulierungen der Items wurden an das Physikstudium von u. a. „in meinem Studium“ oder „studienbezogene Fähigkeiten“ zu „in Physik“ und „physikbezogene Fähigkeiten“ adaptiert.

Zielorientierung

Die Zielorientierung beschreibt eine habituelle Präferenz Lernender für eine Art von Ziel in Lern- und Leistungssituationen (Spinath, 2009). Unterteilt werden kann dabei in Lern- und Leistungsziele. Während lernzielorientierte Lernende nach Wissens- und Kompetenzzuwachs streben, versuchen leistungszielorientierte Lernende Lernsituationen zur Validierung der eigenen Kompetenz zu nutzen bzw. um die eigene Inkompetenz zu verbergen (Spinath, 2009). Arbeitsvermeidende Lernende versuchen Aufgaben mittels kleinstmöglichen Einsatzes zu erledigen (vgl. Meece et al., 1988; Nicholls et al., 1985). Durch den engen Zusammenhang der Zielorientierung und der Nutzung von Lernstrategien (vgl. Ames & Archer, 1988; Miller et al., 1993, Nolen, 1988), der Aufgabenwahl (Stiensmeier-Pelster & Schöne, 2008) und der Persistenz sowie der Leistung (vgl. Huang, 2012; Hulleman et al., 2010; Wirthwein et al., 2013) ist die dispositionelle Ausprägung der Zielorientierung eine mit dem SRL eng zusammenhängende Variable. Daher wurde diese im Forschungsprojekt mit dem von Spinath et al. (2002; 2012) entwickelten und vielfach erprobten Fragebogen SELLMO (SELLMO – Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation) erfasst. Das Instrument umfasst insgesamt 31 Items mit einer

fünfstufigen Likert-Skala, mit denen die dispositionellen Ausprägungen der Lernenden bezüglich der Skalen *Lernzielorientierung* (LZO), der *Annäherungsleistungszielorientierung* (ALZO), der *Vermeidungsleistungszielorientierung* (VLZO) und der *Arbeitsvermeidung* (AV) erhoben wurden. Die allgemein auf das Studium bezogene sprachliche Formulierung der Items („im Studium“) wurde für das Physikstudium („in Physik“/„im Physikstudium“) angepasst.

Interesse

Das *Interesse* als spezifische Relation einer Person zu einem Gegenstand (Krapp, 1992; Prenzel et al., 1986), in der hier vorliegenden Arbeit zur Physik, hat einen wesentlichen Zusammenhang zur Nutzung von Lernstrategien (Wild, 1996), zur Leistung (vgl. Hidi & Renninger, 2006; Krapp, 1999; Schiefele, 1996) und der Persistenz der Bearbeitung (vgl. Ainley et al., 2002; Hidi & Renninger, 2006; Schiefele, 1998) und stellt somit eine für das SRL relevante Disposition dar. Zur Erhebung des Interesses an Physik wurde der von Schiefele et al. (1993) entwickelte und bereits vielfach erprobte Fragebogen zum Studieninteresse FSI (FSI – Fragen zum Studieninteresse) genutzt. Der FSI besteht aus 18 Items mit einer vierstufigen Likert-Skala, die sich auf die Skalen der gefühlsbezogenen Valenz, der wertbezogenen Valenz und des intrinsischen Charakters aufteilen. Zur Konkretisierung der Items auf die Situation der Studienanfängerinnen und Studienanfänger und deren Wahl des Faches Physik wurden Änderungen in der Formulierung der Items u. a. von „meinem Studium“ zu „den Physikinhalt meines Studiums“ vorgenommen.

Selbstwirksamkeit

Die *Selbstwirksamkeit* (SW) beschreibt die subjektive Überzeugung, eine neue und schwierige Anforderungssituation erfolgreich bewältigen zu können (Bandura, 1977; 1997). Sie hängt eng mit SRL-Strategien (vgl. Pintrich et al., 1990), kognitiven Prozessen und der Leistung (vgl. Bong & Skaalvik, 2003; Ferla et al., 2009) zusammen und stellt daher eine für das SRL interessante Disposition dar. Im Gegensatz zum FSK ist die SW zukunftsorientiert und bezieht sich auf eine bestimmte Situation (vgl. Bong & Skaalvik, 2003; Wigfield & Eccles, 2000). Um die SW der Studienanfängerinnen und Studienanfänger zu erheben, wurde ein von Jerusalem und Satow (1999) entwickelter Fragebogen zur SW innerhalb der Mathematik für Schülerinnen und Schüler auf die hier vorliegende Situation adaptiert. Formulierungen von Items, die sich auf „Lehrer“ oder „Mathematik“ beziehen, wurden in Formulierungen der universitären Lehre und Physik (bspw. „Dozenten“ und „Physik“) angepasst. Aufgrund des direkten Bezugs der Items auf die Bearbeitung von

physikbezogenen Inhalten zur Mechanik innerhalb der oadL, wurden zur Reduzierung der Testzeit die Items der in diesem Kontext irrelevanten Skalen der Generalität und des Ausmaßes aus dem Fragebogen entfernt, sodass sich dieser aus lediglich sieben Items mit einer vierstufigen Likert-Skala zusammensetzt.

Selbstwertkontingenzenz

Während der Selbstwert die emotionale Selbsteinschätzung der eigenen Person beschreibt (Schöne & Stiensmeier-Pelster, 2016), ist die *Selbstwertkontingenzenz* (SWK), derjenige Teil des Selbstwertes, der die Abhängigkeit des Selbstwertes von internalen und externalen Faktoren wie dem Erreichen von selbst- oder fremdbestimmten Zielen beschreibt (vgl. Deci & Ryan, 1995; Kernis, 2002; 2003; Schöne & Stiensmeier-Pelster, 2016). Die SWK hängt u. a. mit dem Verhalten der Lernenden bei der Bearbeitung (vgl. Crocker & Wolfe, 2001) oder der Aufgabenwahl (vgl. Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018) zusammen und ist daher eine für das SRL interessante Disposition. In der vorliegenden Arbeit wurde aufgrund des Zusammenhangs zwischen der SWK und der Aufgabenwahl durch die aufgabenbasierte Gestaltung der oadL ausschließlich die SWK erfasst. Trotz der Zusammenhänge bspw. zwischen der Selbstwerthöhe und dem Verhalten (vgl. Brown, 1993) wurde zur Reduzierung des Umfangs dispositioneller Erfassungen sowohl auf eine Erfassung der Selbstwerthöhe als auch der Selbstwertstabilität verzichtet. Mittels des von Schöne und Stiensmeier-Pelster (2016) entwickelten Fragebogens SWKJ (SWKJ – Selbstwertinventar für Kinder und Jugendliche) wurde in der vorliegenden Arbeit die SWK der Studienanfängerinnen und Studienanfänger erfasst. Durch sieben Items mit einer fünfstufigen Likert-Skala und der sprachlichen Adaption der Items (von „Schule“ zu „Studium“) wurde die dispositionelle Ausprägung der Lernenden erhoben.

Lernstrategien

Wie bereits in Kapitel 2 dargestellt wurde, handelt es sich bei der dispositionellen Erfassung von Lernstrategien zum SRL eher um das Wissen über Lernstrategien als um situationsspezifische Fähigkeiten, diese Lernstrategien anwenden zu können oder das Verhalten der Lernenden basierend auf diesen Lernstrategien. Zur dispositionellen Erfassung des Wissens über Lernstrategien wurde das von Schiefele und Wild (1994) entwickelte Instrument LIST (LIST – Lernstrategien im Studium) eingesetzt. Mittels 47 Items zu den Skalen Organisation, Wiederholung, metakognitiven Lernstrategien, Lernstrategien bzgl. der Aufmerksamkeit, Lernstrategien bzgl. der Anstrengung und des Zeitmanagements, die jeweils eine fünfstufige Likert-Skala nutzen, wurde das Wissen der Lernenden zu diesen Strategien erhoben. Um das Instrument an die spezifischen Aspekte

der Bearbeitung der oadL anzupassen und die Testzeit durch das Entfernen in diesem Kontext irrelevanter Items zu reduzieren, wurden einzelne Items aus dem Fragebogen entfernt, in ihrer Formulierung adaptiert und z. T. neu hinzugefügt.

4.2 Digitale Lernumgebung

Zur Erfassung der Performanz von Lernenden bei der Bearbeitung einer oadL wurde eine solche oadL im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt. In Anlehnung an gängige Learning Management Systeme wurden auf einer Website mit Hilfe des Content Management Systems „Wordpress“ Inhalte zur Mechanik für Studienanfängerinnen und Studienanfänger gestaltet. Auf über 700 Einzelseiten befinden sich u. a. 32 Instruktionstexte, 133 Beispiele, 472 Übungsaufgaben und 27 Tests. Die Inhalte der oadL sind dabei zwar in einer sachlogischen Reihenfolge angeordnet (u. a. zusammengehörende Texte mit zugehörigen Beispielen und Aufgaben), die oadL ermöglicht bzw. unterstützt jedoch explizit eine freie Navigation sowohl zwischen den verschiedenen Themen als auch zwischen den zu einem Thema zugehörigen Instruktionen, den Beispielen, Aufgaben und Tests (siehe Auszüge aus der oadL in Anhang A).

Durch die Umsetzung der oadL in Form einer Website ist es Lernenden mit einer entsprechenden Zugangsberechtigung möglich, auch außerhalb des spezifischen universitären Netzwerkes auf die oadL zuzugreifen. Durch eigens über „PHP“, „Java“ und „CSS“ programmierte Erweiterungen wurde der Aufbau der oadL und damit einhergehende Funktionen (wie dem Abspeichern von eigenen Lösungen, einem Taschenrechner und der Möglichkeit, eigene Notizen anzufertigen) optimiert. Darüber hinaus wurde die oadL für touchfähige Geräte (bspw. Tablets) angepasst, sodass Lernende insbesondere bei Übungen zum Zeichnen Freihandlösungen nutzen können. Die Lösungen der Lernenden (ob Text oder Zeichnung) werden dabei automatisiert durch die oadL abgespeichert und können jederzeit durch die Lernenden aufgerufen werden.

4.2.1 Aufbau, Strukturierung und Elemente der digitalen Lernumgebung

Die Inhalte der oadL lassen sich in sechs *Themenblöcke* zu Inhalten der Mechanik unterteilen. Gewählt werden kann zwischen den Themenblöcken: „Grundgrößen der Kraft“, „Mehrkraftsysteme“, „Besondere Kräfte“, „Kraft und Translationsbewegungen“, „Kraft und Rotationsbewegungen“ und „Reibungskraften“. Jeder Themenblock beinhaltet verschiedene *Themen* zum *Grundwissen*. Teilweise werden zusätzlich Themen zu *erweitertem Wissen* (z. B. vertiefende Themen, Sonderfälle) angeboten. Eine Übersicht über alle Themenblöcke und zugehörige Themen gibt Tabelle 3.

Tabelle 3

Übersicht über die Themenblöcke und Themen der entwickelten Lernumgebung

Themen der digitalen Lernumgebung	
Themen des Grundwissens	Themen des erweiterten Wissens
1. Grundgrößen der Kraft	1.2 Erweitertes Wissen
1.1 Grundwissen <ul style="list-style-type: none"> • 1.1.1 Kraft und Wirkung • 1.1.2 Kraft als Vektor • 1.1.3 Masse • 1.1.4 Kraft und Gegenkraft 	
2. Mehrkraftsysteme	2.2 Erweitertes Wissen
2.1 Grundwissen <ul style="list-style-type: none"> • 2.1.1 Verschieben von Kräften • 2.1.2 Zeichnerische Addition von Kräften • 2.1.3 Rechnen mit Kräften • 2.1.4 Kräftegleichgewicht • 2.1.5 Zerlegen von Kräften 	<ul style="list-style-type: none"> • 2.2.1 Kräfte im dreidimensionalen Raum • 2.2.2 Komponentengleichungen
3. Besondere Kräfte	3.2 Erweitertes Wissen
3.1 Grundwissen <ul style="list-style-type: none"> • 3.1.1 Gewichtskraft • 3.1.2 Hangabtriebskraft und Auflagekraft • 3.1.3 Normalkraft • 3.1.4 Federkraft 	<ul style="list-style-type: none"> • 3.2.1 Gravitationskraft • 3.2.2 Kraftfelder
4. Kraft und Translationsbewegungen	4.2 Erweitertes Wissen
4.1 Grundwissen <ul style="list-style-type: none"> • 4.1.1 Grundgesetz der Translation 	
5. Kraft und Rotationsbewegungen	5.2 Erweitertes Wissen
5.1 Grundwissen <ul style="list-style-type: none"> • 5.1.1 Zentripetalkraft • 5.1.2 Drehmoment • 5.1.3 Trägheitsmoment • 5.1.4 Grundgesetz der Rotation 	<ul style="list-style-type: none"> • 5.2.1 Hebel • 5.2.2 Trägheitsmoment allgemein
6. Reibungskräfte	6.2 Erweitertes Wissen
6.1 Grundwissen <ul style="list-style-type: none"> • 6.1.1 Haftreibung • 6.1.2 Gleitreibung • 6.1.3 Rollreibung • 6.1.4 Strömungswiderstand 	

Anmerkung. Die Lernumgebung ist offen gestaltet und gibt keine Reihenfolge der Themenblöcke, Themen oder Seiten vor. Die Nummerierung der einzelnen Themen wird innerhalb der Lernumgebung nicht abgebildet und im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich zu Analyse Zwecken genutzt.

Innerhalb jedes Themas haben die Lernenden die Möglichkeit zu den unterschiedlichen Themen eines Themenblocks Instruktionen und Beispiele zu lesen, mittels Kurzaufgaben und Übungen zu üben oder ihr Wissen in Tests zu prüfen. Die einzelnen Themen eines Themenblocks können dabei in der in Tabelle 3 dargestellten Reihenfolge bearbeitet werden oder frei durch die Lernenden ausgewählt werden (siehe für einen Einblick in die oadL Anhang A). Um den Lernenden zu Beginn der Bearbeitung eine Übersicht über die Inhalte und die Möglichkeiten der oadL zu geben, finden die Lernenden auf der Startseite der oadL ein dreiminütiges Einführungsvideo.

Instruktionen

Die *Instruktionen* bestehen aus konzeptionell formulierten Erläuterungen zu jedem Thema (z. B. Regeln, Gesetze, Definitionen). Sie greifen bekannte Schülervorstellungen auf und versuchen, diesen Vorstellungen implizit zu begegnen bzw. diese sprachlich zu berücksichtigen (und sie sprachlich nicht noch zu verstärken). So findet sich im Beispiel des Instruktionstextes zu Kraft und Wirkung (siehe Abbildung 7) eine Unterscheidung zwischen angreifender und resultierender Kraft. Dies soll hier z. B. der dokumentierten Vorstellung entgegenwirken, dass sich Körper nur dann nicht bewegen, wenn keine einzige Kraft auf sie wirkt (Schecker et al., 2018).

Abbildung 7

Beispiel zu einer Instruktion innerhalb der Lernumgebung

Kraft und Wirkung

In der Mechanik spielen Kräfte eine zentrale Rolle. Kräfte können Körper verformen und/oder deren Bewegungszustand verändern. Das Formelzeichen der Kraft ist F , die Einheit der Kraft ist Newton N . In SI-Einheiten gilt:

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Es ist möglich, dass Kräfte auf einen Körper wirken, sich dennoch sein Bewegungszustand (der Betrag und/oder die Richtung seiner Geschwindigkeit) und dessen Form nicht verändern. Es heben sich dann alle am Körper angreifenden Kräfte auf; es wirkt keine *resultierende* Kraft. Aus der Änderung des Bewegungszustandes und/oder der Form eines Körpers kann also auf eine resultierende Kraft geschlossen werden. Aus einer fehlenden Änderung des Bewegungszustandes oder der Form kann aber nicht geschlossen werden, dass gar keine Kraft wirkt – alle angreifenden Kräfte heben sich möglicherweise auf.

Beispiel 1 ↗	Kurzaufgabe 1 ↗
Beispiel 2 ↗	Kurzaufgabe 2 ↗
Beispiel 3 ↗	Kurzaufgabe 3 ↗
Beispiel 4 ↗	Kurzaufgabe 4 ↗

Zurück zur Übersicht
Nächste Seite

Zum Üben

Beispiele

Unter den instruktionalen Texte werden den Lernenden jeweils vier *Beispiele* angeboten. Diese sind als Aufgaben formuliert und beinhalten in Form von „worked examples“ (vgl. Renkl, 2005) die Anwendung einer oder mehrerer Konzepte aus der Instruktion. Mittels eines Vorschaufensters kann die jedem Beispiel zu Grunde liegende Aufgabenstellung gelesen werden (siehe Abbildung 8). Nach Auswahl eines Beispiels öffnet sich neben der dem Beispiel zu Grunde liegenden Aufgabenstellung zudem eine Erklärung zur Anwendung der in der Instruktion gegebenen Konzepte auf die Situation und eine Musterlösung inklusive Lösungsweg (siehe Abbildung 9).

Abbildung 8

Beispiel eines Vorschaufensters zu einem Beispiel innerhalb der Lernumgebung

Kraft und Wirkung

In der Mechanik spielen Kräfte eine zentrale Rolle. Kräfte können Körper verformen und/oder deren Bewegungszustand verändern. Das Formelzeichen der Kraft ist F , die Einheit der Kraft ist Newton N . In SI-Einheiten gilt:

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Es ist möglich, dass Kräfte auf einen Körper wirken, sich dennoch sein Bewegungszustand (der Betrag und/oder die Richtung seiner Geschwindigkeit) und dessen Form nicht verändern. Es heben sich dann alle am Körper angreifenden Kräfte auf; es wirkt keine *resultierende* Kraft. Aus der Änderung des Bewegungszustandes und/oder der Form eines Körpers kann also auf eine resultierende Kraft geschlossen werden. Aus einer fehlenden Änderung des Bewegungszustandes oder der Form kann aber nicht geschlossen werden, dass gar keine Kraft wirkt – alle angreifenden Kräfte heben sich möglicherweise auf.


Beispiel 1 ↗

Situationsbeschreibung:

Eine Frau beginnt eine Kiste zu schieben. Die Position der Kiste und der Frau sind durch Serienbilder festgehalten.

Mögliche Aufforderung:

Kann aus der Situation auf das Vorliegen einer resultierenden Kraft geschlossen werden?



Zum Beispiel

Beispiel 2 ↗

Kurzaufgabe 1 ↗

Kurzaufgabe 2 ↗

Kurzaufgabe 3 ↗

Kurzaufgabe 4 ↗

Abbildung 9


Beispiel zum Aufbau eines Beispiels innerhalb der Lernumgebung

Situationsbeschreibung:

Eine Frau beginnt eine Kiste zu schieben. Die Position der Kiste und der Frau sind durch Serienbilder festgehalten.

Mögliche Aufforderung:

Geben Sie an, ob aus der Situation auf das Vorliegen einer resultierenden Kraft geschlossen werden kann.



Anwendung:

Um angeben zu können, wann und ob eine resultierende Kraft auf die Kiste wirkt, wird nach der Änderung des Bewegungszustandes und/oder der Verformung der Kiste gesucht.

Lösung:

Betrachtet man zunächst Bild 1, ist weder eine Änderung des Bewegungszustandes der Kiste noch eine Änderung der Form der Kiste zu beobachten, d. h. es wirkt keine resultierende Kraft auf die Kiste. Möglich ist, dass entweder keine Kräfte auf die Kiste wirken oder unterschiedliche Kräfte, die sich gegenseitig aufheben. Gleiches gilt für Bild 2 und 3. Da sich jedoch der Bewegungszustand der Kiste von Bild 1 zu Bild 2 verändert hat, kann angegeben werden, dass zwischen Bild 1 und Bild 2 eine resultierende Kraft auf die Kiste gewirkt haben muss.

[Zurück zur Übersicht](#)

Kurzaufgaben

Neben dem Instruktionstext und vier Beispielen zu jedem Thema werden zusätzlich vier *Kurzaufgaben* gegeben (siehe Abbildung 8). Analog zu den Beispielen kann die einer Kurzaufgaben zu Grunde liegende Aufgabenstellung über ein Vorschauenfenster gelesen werden (siehe Anhang Abbildung A16). Nach dem Aufruf einer Seite mit einer Kurzaufgabe wird den Lernenden erneut eine Aufgabenstellung sowie ein Text- und Zeichenfeld zur Bearbeitung der Aufgabe gegeben (siehe Abbildung 10). Ein Button auf der Seite führt zudem zur Musterlösung inklusive einer entsprechenden Erklärung und dem zugehörigen Lösungsweg (siehe Abbildung 11).

Abbildung 10


Beispiel einer Kurzaufgabe innerhalb der Lernumgebung

Situationsbeschreibung:

Ein Auto steht auf einer Straße.

Aufforderung:

Versuchen Sie anzugeben, ob die Wirkung einer resultierenden Kraft auf das Auto zu erkennen ist und begründen Sie Ihre Angabe.



Hier können Sie Ihre Antwort eintragen:

Hier ist Platz zum Zeichnen





   
ZEICHNEN TEXT FORMEN AUFKLEBER

Abbildung 11

Beispiel zu einer Musterlösung einer Kurzaufgabe innerhalb der Lernumgebung

Anwendung:

Um angeben zu können, ob eine resultierende Kraft wirkt, wird nach der Änderung des Bewegungszustandes und/oder nach der Verformung des Körpers gesucht.

Lösung:

In den gegebenen Bildern lässt sich keine Wirkung einer resultierenden Kraft erkennen. Das Auto verändert weder seinen Bewegungszustand noch verformt es sich. Dennoch ist es möglich, dass mehrere Kräfte auf das Auto wirken.

Übungen

Innerhalb des Übungsbereiches zu einem Themenblock finden sich gegliedert nach Themen *Übungsaufgaben* (siehe Abbildung 12). Jede Aufgabe bezieht sich auf die im jeweiligen Thema im Instruktionstext thematisierten Konzepte. Die Aufgaben haben innerhalb der gesamten oadL einen hohen Grad der Standardisierung und setzen sich aus offenen und geschlossenen Aufgaben zusammen, die entweder eine schriftliche, eine zeichnerische oder eine rechnerische Lösung fordern.

Neben den themenspezifischen Übungsaufgaben werden den Lernenden in einem zusätzlichen Bereich *vernetzende Übungsaufgaben* angeboten (siehe Abbildung 12). Diese Aufgaben sind so konzipiert, dass deren Lösung Wissen über Konzepte aus unterschiedlichen Themen erfordert (bspw. ist zur Lösung einer solchen Aufgabe ein Konzept aus dem Thema „Kraft und Wirkung“ und ein Konzept aus dem Thema „Kraft und Gegenkraft“ notwendig).

Die Übungsaufgaben sind nach *Anforderungsniveaus* in die Bereiche niedrig, mittel und hoch aufgeteilt (siehe Abbildung 12). Die Zuteilung einer Aufgabe zu einem Anforderungsniveau erfolgte systematisch mit Blick auf die Komplexität (Anzahl der zur Lösung notwendigen Konzepte) und das für die Lösung erforderliche Konzeptualisierungsniveau (Prediger & von Aufschnaiter, 2017; von Aufschnaiter & Rogge, 2010). Das Konzeptualisierungsniveau richten sich dabei danach, inwiefern ein exploratives oder intuitives Verständnis zur Lösung der Aufgabe ausreicht oder darüber hinaus ein explizites Verständnis des zu Grunde liegenden Konzeptes zur Aufgabenlösung notwendig ist (von Aufschnaiter & Rogge, 2010). Die vorgenommene Einteilung des Autors in die Anforderungsniveaus niedrig (Konzeptualisierungsniveau und Komplexität niedrig), mittel (Konzeptualisierungsniveau oder Komplexität hoch) oder hoch (Konzeptualisierungsniveau und Komplexität hoch) wurde mittels 30 Übungsaufgaben zu verschiedenen Themen und verschiedenen Anforderungsniveaus von drei Professorinnen und Professoren der Physik und der Physikdidaktik geprüft. Dabei waren in nahezu allen Fällen sowohl die Einschätzungen der Professorinnen und Professoren untereinander als auch die in der oadL vorgenommene Einteilung deckungsgleich.

Abbildung 12

Beispiel zur Übersicht über die Übungsaufgaben des ersten Themenblocks der Lernumgebung



Willkommen im Übungsbereich der Lernumgebung!

Hier können Sie Übungen zu den einzelnen Themengebieten in verschiedenen Schwierigkeitsstufen auswählen oder gemischte und vernetzende Übungsaufgaben zwischen den einzelnen Themengebieten bearbeiten. Im Vergleich zu den Kurzaufgaben wird in den Übungsaufgaben nur eine Musterlösung oder ein Lösungsvorschlag ohne Lösungsweg und Begründung gegeben. Sind Sie sich bei einer Lösung unsicher, navigieren Sie gerne zurück zur Erarbeitung des Grundwissens.



- Kraft und Wirkung 
- Kraft als Vektor 
- Masse 
- Kraft und Gegenkraft 
- Vernetzende Übungen 

[Zurück zur Übersicht](#) [Zum Testen](#)

Analog zur Vorschau von Beispielen und Kurzaufgaben haben auch hier die Lernenden die Möglichkeit, über ein Vorschaufenster die Aufgabenstellungen der einzelnen Übungsaufgaben zu lesen (siehe Anhang Abbildung A24). Wählen die Lernenden eine Übungsaufgabe aus, wird ihnen neben der Aufgabenstellung ein Freitext- und ein Zeichenfeld zur Verschriftlichung des Lösungs-/Rechenwegs gegeben (siehe Abbildung 13). Über einen Button können die Lernenden zudem die Musterlösung aufrufen (siehe Abbildung 14). Im Gegensatz zu den Kurzaufgaben wird innerhalb von Übungsaufgaben ausschließlich die Musterlösung ohne weitere Erklärung oder einen Rechenweg gegeben.

Abbildung 13

Beispiel zu einer Übungsaufgabe innerhalb der Lernumgebung

Situationsbeschreibung:

Eine Person übt eine Kraft von

$$\vec{F}_{PK} = \begin{pmatrix} 4 \\ -3 \end{pmatrix} \text{ N}$$

auf eine Kiste aus.

Aufforderung:

Geben Sie die Gegenkraft als Vektor an.

Hier können Sie Ihre Antwort eintragen:

...

Hier ist Platz zum Zeichnen

ZEICHNEN TEXT FORMEN AUFKLEBER

Abbildung 14

Beispiel zu einer Musterlösung einer Übung innerhalb der Lernumgebung

Lösung:

Die Gegenkraft zur Kraft \vec{F}_{PK} ist

$$\vec{F}_{KP} = \begin{pmatrix} -4 \\ 3 \end{pmatrix} \text{ N}$$

Testen

Zu jedem Themenblock gibt es einen Testbereich. Hier können die Lernenden ihr Wissen überprüfen.¹⁸ Innerhalb des Testbereiches stehen den Lernenden zu jedem Themenblock drei Testversionen mit Single- und Multiple-Choice-Aufgaben zur Verfügung. Die Aufgaben der drei Testversionen unterscheiden sich lediglich in den gewählten Beispielen und Kontexten, nicht jedoch in ihrem Anforderungsniveau. Durch die unterschiedlichen Versionen soll es Lernenden ermöglicht werden, sich mehrmals pro Themenblock zu testen, ohne dabei mehrmals die gleichen Aufgaben bearbeiten zu müssen.

Ein *Test* besteht aus zwei Aufgaben zu jedem Thema eines Themenblocks und aus vier vernetzenden Aufgaben. Die Anzahl der Aufgaben eines Tests richtet sich somit jeweils nach der Anzahl der Themen innerhalb eines Themenblocks. Besteht ein Themenblock aus vier Themen, besteht der Test aus jeweils zwei Aufgaben zu jedem der einzelnen Themen und vier weiteren Aufgaben zur Vernetzung dieser Themen; insgesamt also aus zwölf Aufgaben. Die im Test gestellten Aufgaben wurden im Rahmen der Entwicklung der oadL analog zu allen Kurzaufgaben und Übungsaufgaben selbst entwickelt, richten sich spezifisch nach den in den Instruktionstexten, Beispielen, Kurzaufgaben und Übungsaufgaben thematisierten Konzepten und wurden analog zu den Kurz- und Übungsaufgaben gestaltet. Die im Gegensatz zu Kurz- und Übungsaufgaben hier verwendeten Antwortoptionen wurden nach gängigen Schülervorstellungen gewählt.

Die Anforderungsniveaus der genutzten Aufgaben wurden so gewählt, dass im Mittel über einen gesamten Test ein mittleres Anforderungsniveau vorliegt. Jede Aufgabe besteht dabei aus einer Aufgabenstellung und vier bis fünf Antworten (siehe Abbildung 15). Bei Single-Choice-Aufgaben kann (technisch) nur eine Antwort ausgewählt werden, Multiple-Choice-Aufgaben sind für die Lernenden gekennzeichnet („Hier können mehrere Antworten richtig sein“).

¹⁸ Die Tests innerhalb der oadL richten sich spezifisch nach den in den Instruktionstexten, den Beispielen, Kurzaufgaben und Übungen thematisierten Konzepten, während der Prä- und der Posttest das grundsätzliche Verständnis von Mechanik erfasst. Durch die Divergenz der Tests innerhalb der oadL und des Prä- und Posttests sollen Effekte u. a. wiederholter Testung insbesondere im Rahmen der Einschätzung des Vorwissens und des Lernerfolgs reduziert werden.

Abbildung 15

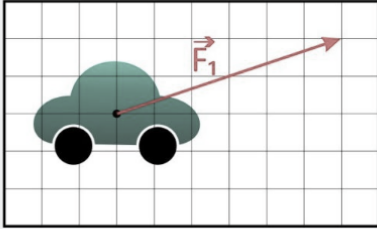
Beispiel zu einer Testaufgabe innerhalb der Lernumgebung

4/13

Frage 4

Situationsbeschreibung:

Auf ein Spielzeugauto wird eine Kraft ausgeübt. Diese Kraft ist durch einen Pfeil dargestellt. Die Länge eines Kästchens entspricht dabei 1 N.



The diagram shows a green toy car on a grid. A red arrow labeled \vec{F}_1 originates from the center of the car and points to the right and upwards. The arrow spans 3 grid units horizontally and 2 grid units vertically.

Frage:

Welche Kraft ist durch den Pfeil dargestellt?

$\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} 2 \\ 6 \end{pmatrix} \text{ N}$

$\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ N}$

$\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} \text{ N}$

$\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ N}$

$\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} 6 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ N}$

Direkt nach Abschluss eines Tests wird den Lernenden eine Rückmeldung zu den von ihnen gegebenen Antworten in Form einer prozentualen Angabe der richtig beantworteten Aufgaben gegeben (siehe Abbildung 16). In einer Übersicht wird aufgelistet, welche der Aufgaben korrekt und welche falsch beantwortet wurden. Zu beachten ist dabei, dass eine Aufgabe nur als richtig beantwortet gewertet wird, wenn bei einer Single-Choice-Aufgabe die richtige Antwort ausgewählt wurde (technisch kann bei einer Single-Choice-Aufgabe nur eine Antwort ausgewählt werden) oder bei einer Multiple-Choice-Aufgabe alle korrekten Antworten und keine inkorrekte Antwort ausgewählt wurde. Haben die Lernenden bei einer Multiple-Choice-Aufgabe neben den korrekten Antworten eine inkorrekte Antwort ausgewählt, wird die ganze Aufgabe als falsch beantwortet gewertet. Eine Rückmeldung dazu, welche Antworten die korrekten Antworten gewesen wären, wird nicht gegeben.

Abbildung 16

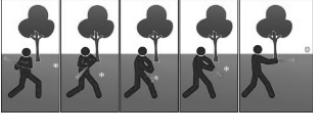
Beispiel zu einer Rückmeldung nach Abschluss eines Tests innerhalb der Lernumgebung

13/13

Ergebnis / Übersicht

Ihr Testergebnis liegt bei
100%

Zusammenfassung

Beschreibung	Frage	Prozent
Frage 1		
KS1eV1 -F1	<p style="text-align: center;">Situationsbeschreibung:</p> <p>Ein Baseball fliegt einen Baseballspieler entgegen und wird mit einem Baseballschläger geschlagen.</p> <p style="text-align: center;">Frage:</p> <p>Zu welchem Zeitpunkt ist die Wirkung einer Kraft auf den Ball zu erkennen?</p> <div style="text-align: center;">  </div>	
In Bild 3 ist die Wirkung einer Kraft auf den Ball zu erkennen.		8%
Benutzername	Envijonas	
Frage 2		
KS1eV1 -F2	<p style="text-align: center;">Situationsbeschreibung:</p> <p>Ein Ball liegt in Ruhe auf dem Boden.</p>	

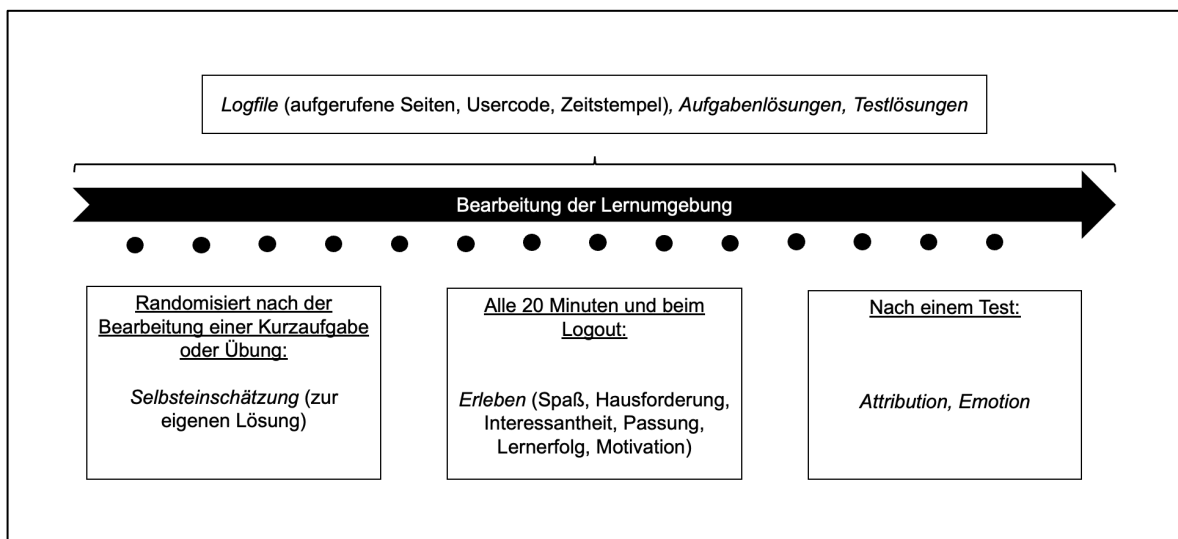
Anmerkung. In Frage 1 ist die Lösung „Bild 3“ korrekt, da auf diesem Bild eine Verformung des Balls zu erkennen ist, die möglicherweise durch die Größe der Abbildung hier nicht zu erkennen ist. Zudem ändert der Ball zwischen Bild 2 und 4 seine Bewegungsrichtung.

4.2.2 Methoden der Datenerfassung innerhalb der Lernumgebung

Während der Bearbeitung der oadL wurden eine Reihe von Daten erhoben, aus denen im Zuge der Analyse Hinweise auf die Bearbeitungsprozesse und das Erleben dieser Prozesse abgeleitet wurden. Dazu gehören einerseits automatisiert erhobene Daten wie *Logfiles* oder die gespeicherten *Aufgabenlösungen* der Lernenden. Andererseits wurden die Lernenden zu festgelegten Zeitpunkten dazu aufgefordert, kurze Befragungen zu ihren Bearbeitungsprozessen auszufüllen (Übersicht in Abbildung 17). Im Folgenden werden die einzelnen Methoden zur Datenerfassung näher beschrieben.

Abbildung 17

Übersicht über die Erhebungsinstrumente zur Performanz und den situationsspezifischen Fähigkeiten der Lernenden



Anmerkung. Das Zeitfenster für die Bearbeitung der Lernumgebung innerhalb des Vorkurses umfasste 180 Minuten. Die Lernumgebung konnte zudem auch außerhalb dieses Zeitfensters innerhalb von drei Tagen zusätzlich von zu Hause bearbeitet werden.

Logfiles

Jede Interaktion der Lernenden mit der Website – als „Klick“ – wird automatisch in Protokollen (sog. Logfiles) festgehalten. Abgespeichert werden die Seitenaufrufe mit Zeitstempel zugeordnet zu einem User (dem zur Pseudonymisierung generierten Code eines Lernenden) der oadL, sodass der zeitliche Verlauf der Navigation der Lernenden über verschiedene Seiten der oadL retrospektiv nachvollzogen werden kann. Sowohl die IP-Adresse, die Art des Browsers als auch der ungefähre Ort des Zugriffs auf die Website, die für Logfiles typisch sind, werden zwar erfasst, aus datenschutzrechtlichen Gründen jedoch nicht gespeichert. Da die Logfiles ausschließlich Interaktionen mit der oadL

erfassen, die mit dem Aufruf einer Seite (durch einen „Klick“) verbunden sind, können Maus-Over-Aktionen, die u. a. das Öffnen einer Vorschau von Beispielen (siehe Anhang Abbildung A11), Kurzaufgaben (siehe Anhang Abbildung A16) oder Übungen (siehe Anhang Abbildung A24) betreffen, nicht durch die Logfiles erfasst werden.

Um eine Rekonstruktion des zeitlichen Verlaufs der Navigation gewährleisten zu können, wurde bei der Datenerhebung die Möglichkeit des Öffnens der oadL in mehr als einem Tab oder Fenster im Browser technisch verhindert.

Aufgabenlösungen

Sowohl in Verbindung mit Kurzaufgaben als auch mit Übungen werden die Lernenden zum Lösen von Aufgaben aufgefordert. Mittels Freitext- und Zeichenfeld haben die Lernenden die Möglichkeit, ihre Lösungen und den Lösungsweg in Form von Text oder in Form von Zeichnungen zu dokumentieren. Die oadL speichert automatisiert beim Verlassen einer Seite mit einer Kurzaufgabe oder einer Übung den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Zustand der durch die Lernenden notierten Lösungen. Öffnen die Lernenden die Seite zu einem späteren Zeitpunkt erneut, wird bei wiederholtem Verlassen der Seite eine weitere separate Speicherung der neuen Lösung vorgenommen (d. h. die alte Lösung wird nicht überschrieben). Alle gespeicherten Lösungen beinhalten neben einer Aufzeichnung des Textes und der Zeichnungen sowohl den Benutzernamen der Lernenden (pseudonymisierten Code) als auch einen zugehörigen Zeitstempel.

Testlösungen

Schließen die Lernenden innerhalb der oadL einen Test ab, werden innerhalb einer PDF-Datei automatisiert Informationen zum Testergebnis, dem Zeitpunkt des Tests, dem Benutzernamen (pseudonymisierter Code) und die gegebenen Antworten zu jeder einzelnen Frage abgespeichert.

Attribution von Testergebnissen

Nachdem die Lernenden innerhalb der oadL einen Test bearbeitet und ihr Testergebnis erhalten haben, wurde die Kausalattribution (retrospektive Ursachenzuschreibungen; Weiner, 1986) der Lernenden bezüglich des Testergebnisses erhoben. Diese hängt nicht nur eng mit der „State“-Komponente des FSK (vgl. Breker, 2016; Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018) und der SW (vgl. Bandura, 1986) zusammen, sondern auch mit dem zukünftigen Lernverhalten (vgl. Borkowski et al., 2000; Breker, 2016) und ist daher für die Performanz des SRL wesentlich. Mit Hilfe einer adaptierten Version des von Dickhäuser (2001) entwickelten Fragebogens zur Attributionsabfrage nach der Bearbeitung einer

Aufgabe, wurde hier die Attribution der Lernenden bezüglich der Leistung im vorhergegangenen Test erfasst. Dabei sollten die Lernenden das zurückgemeldete Testergebnis (siehe Abbildung 16) als Erfolg oder Misserfolg einschätzen und einen von ihnen für das Testergebnis vermuteten ursächlichen Grund (in einem Freitextfeld; ohne Vorgaben von Möglichkeiten; Abbildung 18) angeben. Dieser Grund sollte anschließend mittels vier Items – je ein Item pro Dimension der Kausalattribution (Globalität, Stabilität, Kontrollierbarkeit und Lokus) – mit einer bipolaren fünfstufigen Skala eingeordnet werden (siehe Abbildung 19).

Abbildung 18

Beispiel eine Befragung zur Attribution nach einer Rückmeldung zu einem Test innerhalb der Lernumgebung

Bitte geben Sie uns eine kurze Rückmeldung:



Ich sehe das Testergebnis als Erfolg. Ich sehe das Testergebnis als Misserfolg.

1- Trifft genau zu 2- Trifft eher zu 3- Trifft weder noch zu 4- Trifft eher zu 5- Trifft genau zu

Wenn Sie zu diesem Thema das erste Mal einen Test durchgeführt haben: Was ist der Hauptgrund für Ihr Testergebnis?

Wenn Sie zu diesem Thema bereits einen Test durchgeführt haben: Was ist der Hauptgrund für die Änderung Ihres Testergebnisses in Bezug zum vorherigen Testergebnis zu diesem Thema?

Abbildung 19

Beispiel zur Einordnung der Attribution nach einer Testrückmeldung innerhalb der Lernumgebung

<p>Der Hauptgrund ist etwas außerhalb meiner Person (z.B. ungeschickt formulierte Aufgaben).</p> <p>1- Trifft genau zu <input type="radio"/></p> <p>2- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>3- Trifft weder noch zu <input type="radio"/></p>	<p>Der Hauptgrund ist etwas innerhalb meiner Person (z.B. fehlende Konzentration, mangelndes Verständnis).</p> <p>4- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>5- Trifft genau zu <input type="radio"/></p>
<p>Der Hauptgrund ist eher grundsätzlicher Natur (tritt z.B. auch in anderen Situationen auf).</p> <p>1- Trifft genau zu <input type="radio"/></p> <p>2- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>3- Trifft weder noch zu <input type="radio"/></p>	<p>Der Hauptgrund hat etwas mit der spezifischen Testsituation zu tun.</p> <p>4- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>5- Trifft genau zu <input type="radio"/></p>
<p>Der Hauptgrund ist dauerhaft.</p> <p>1- Trifft genau zu <input type="radio"/></p> <p>2- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>3- Trifft weder noch zu <input type="radio"/></p>	<p>Der Hauptgrund ist vorübergehend.</p> <p>4- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>5- Trifft genau zu <input type="radio"/></p>
<p>Der Hauptgrund kann beeinflusst werden (z.B. durch größere Anstrengung).</p> <p>1- Trifft genau zu <input type="radio"/></p> <p>2- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>3- Trifft weder noch zu <input type="radio"/></p>	<p>Der Hauptgrund kann nicht beeinflusst werden.</p> <p>4- Trifft eher zu <input type="radio"/></p> <p>5- Trifft genau zu <input type="radio"/></p>

Emotionen nach der Rückmeldung zu einem Test

In Verbindung mit der Attribution der Lernenden bezüglich eines Testergebnisses wurden aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen der Attribution und der Emotion (vgl. Frenzel et al., 2015; Schwinger, 2008; Tulis, 2010) die Emotionen der Lernenden erhoben. Die Emotionen der Lernenden hängen dabei nicht nur mit dem Einsatz von kognitiven und metakognitiven Lernstrategien zusammen (vgl. Pekrun et al., 2002), sondern darüber hinaus auch mit der Persistenz der Bearbeitung (vgl. Eccles und Wigfield, 2002; Titz, 2001; Ulrich & Mayring, 2003) sowie der Leistung (vgl. Laukemann & von Rhöneck,

2003; Zeidner, 2007). Mittels drei Items und einer bipolaren siebenstufigen Skala aus den PANAVA-Kurzskalen von Schallenger (2006) wurden die Emotionen der Lernenden erfasst. Jedes Item kann dabei einer der Skalen der *positiven Aktivierung*, der *negativen Aktivierung* oder der *Valenz* (in Anlehnung an Schallenger, 2006) zugeordnet werden (siehe Abbildung 20).

Abbildung 20

Beispiel zur Abfrage der Emotionen der Lernenden nach der Rückmeldung zu einem Test innerhalb der Lernumgebung

The image shows a digital questionnaire interface. At the top, it asks: "In Bezug auf mein Testergebnis fühle ich mich ...". Below this, there are three rows of bipolar Likert scales. Each row has a negative label on the left and a positive label on the right, with a central "unentschieden" (neutral) label. The scales are:

- Row 1: "unzufrieden sehr" (left) vs "zufrieden sehr" (right). Scale points: -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3.
- Row 2: "entspannt sehr" (left) vs "gestresst sehr" (right). Scale points: -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3.
- Row 3: "lustlos sehr" (left) vs "hoch motiviert sehr" (right). Scale points: -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3.

 Each scale point is represented by a radio button. At the bottom right, there is a dark grey button labeled "Abstimmen".

Selbsteinschätzung zur Angemessenheit eigener Lösungen

Es ist anzunehmen, dass es für das Gelingen von SRL in einer oadL relevant ist, ob Lernende ihrer Aufgabenlösungen angemessen einschätzen können. Das gilt insbesondere dann, wenn wie in der hier untersuchten oadL überwiegenden offene Aufgaben bearbeitet werden, zu denen es weder eine eindeutige Musterlösung gibt (z. B. weil mehrere unterschiedliche aber gleich richtige Zeichnungen möglich wären; siehe Anhang Abbildung A30) noch eine automatisierte Rückmeldung möglich ist. Um sich den situations-spezifischen Fähigkeiten der Lernenden in Bezug auf deren Selbsteinschätzung von Aufgabenlösungen zu nähern, wurden die Lernenden nach der Bearbeitung von ungefähr vier Kurzaufgaben oder Übungen (randomisiert) aufgefordert, die Passung der eigenen Lösung zu der Musterlösung einzuschätzen. Dafür wurden zwei unterschiedliche Befragungsvarianten genutzt: (1) die Lernenden sollen die von ihnen erstellte Lösung mit der Musterlösung vergleichen und auf einer vierstufigen Likert-Skala die Richtigkeit ihrer Lösung einschätzen. Unterschieden wird hier zwischen „vollständig richtig“, „größtenteils

richtig / enthält mehr richtige als falsche Anteile“, „größtenteils falsch / enthält mehr falsche als richtige Anteile“ und „vollständig falsch“ (siehe Anhang Abbildung A19). Alternativ sollen die Lernenden (2) ihre Lösung auf einer dichotomen Skala einschätzen und weitere Schritte der Bearbeitung oder einen Grund für ihre Lösung angeben: „richtig, ich muss aber noch mehr üben“, „richtig, ich wusste die Antwort jedoch ohnehin schon“, „richtig, ich habe das Gefühl es jetzt verstanden zu haben“, „falsch, ich bin mir aber sicher, dass ich es beim nächsten Mal kann“, „falsch, ich muss noch mehr üben“ und „falsch, ich verstehe das einfach nicht“. Die beiden unterschiedlichen Varianten wurden gewählt, um einerseits eine genauere Selbsteinschätzung der Lernenden zu ihrer eigenen Lösung zu erhalten, sowie darüber hinaus auch mögliche mit einer in der Reflexionsphase des SRL auf Mikro- und Mesoebene vorgenommenen Selbsteinschätzungen mit einhergehenden Konsequenzen für die weitere Bearbeitung der oadL (Planungsphase SRL) verbinden zu können. Die Zuweisung der jeweiligen Varianten war dabei randomisiert.

Erleben der eigenen Bearbeitungsprozesse innerhalb der Lernumgebung

Angelehnt an die *Experience-Sampling-Methode* (ESM; Larson & Csikszentmihalyi, 2014) wurden die Lernenden alle 20 Minuten und beim Ausloggen aus der oadL nach ihrem Erleben in der Auseinandersetzung mit der oadL gefragt. Dabei wurden sechs Items – jeweils ein Item zum Erleben von Spaß, zur Herausforderung, Interessantheit, Passung, zum selbsteingeschätzten Lernerfolg und zur Motivation der Lernenden – und eine vierstufige Likert-Skala mit Ausprägungen von „trifft nicht zu“ bis „trifft genau zu“ genutzt (siehe Abbildung 21). Alle hier erfassten Aspekte des Erlebens haben vermutlich direkte Auswirkungen auf die Performanz der Lernenden bei der Bearbeitung und damit verbunden das SRL, wurden jedoch aufgrund der Vielzahl an bereits eingesetzten Testinstrumenten jeweils nur mit einem Item erfasst, sodass der Bearbeitungsprozess der Lernenden nur geringfügig unterbrochen wurde. Während die Motivation, Interessantheit und Emotion direkte Auswirkungen auf den Einsatz von Lernstrategien bei der Bearbeitung haben können (vgl. Efklides et al., 2018; Grieder, 2006; Krapp, 1993), hängt die empfundene Herausforderung der Lernenden, die Passung der Lerninhalte und der selbst eingeschätzte Lernerfolg während der Bearbeitung u. a. mit der Motivation (vgl. Rheinberg et al., 2001; Vollmeyer & Rheinberg, 1998) und der SW (vgl. Helmke, 1993; Malmivouri, 2006) zusammen.

Abbildung 21

Beispiel zu einer Abfrage des Erlebens während der Bearbeitung der Lernumgebung

Die bisherige Bearbeitung der Lernumgebung hat mir Spaß gemacht.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Die bisherigen Inhalte der Lernumgebung waren für mich eine Herausforderung.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Die Inhalte der Lernumgebung waren bisher interessant.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Ich habe bisher immer für mich passende Inhalte in der Lernumgebung gefunden.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Ich habe das Gefühl, dass ich gerade erkennbar dazu lerne.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Ich bin weiterhin motiviert, mit der Lernumgebung zu arbeiten.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

4.3 Ablauf der Datenerhebung

Zur Datenerhebung wurde ein dreitägiger Präsenzvorkurs zur Mechanik zu Beginn des Wintersemesters 2021/2022 und 2022/2023 genutzt, der aus zwei Präsenz- und einem dazwischen liegenden Distanztag bestand.¹⁹ Der Vorkurs wurde Studienanfängerinnen und Studienanfängern im Lehramt für Gymnasium (L3), Haupt- und Realschulen (L2), Förderschule (L5) und für betrieblich und berufliche Bildung (BBB) sowie Studienanfängerinnen und Studienanfänger der Bachelorstudiengänge Physik, Materialwissenschaften (MaWi) und Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen (PTRA) zur freiwilligen Teilnahme angeboten (siehe Anhang B).

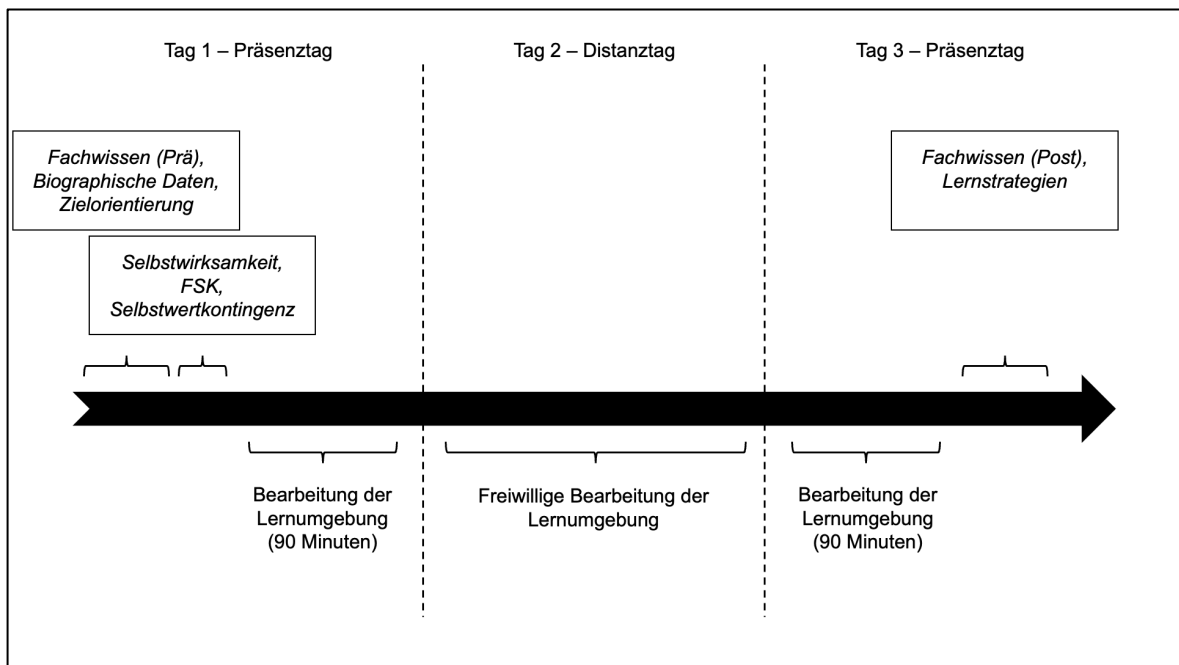
Die Studie ist als *Ein-Gruppen-Prä-Post-Design* angelegt. Zu Beginn des Vorkurses wurde den Teilnehmenden in Verbindung mit einer Einführung in den Vorkurs der erste

¹⁹ Die Datenerhebungen waren nur ein Teil des Vorkursprogrammes; den anderen Teil der Zeit befassten sich die Lernenden außerhalb der oadL mit Rechenansätzen zu Physikaufgaben.

Fragebogen zu ihren biographischen Daten, der Test zur Erfassung ihres Fachwissens bezüglich den Newtonschen Axiomen 1–3 und der Fragebogen zu ihrer Zielorientierung vorgelegt. Nach einer Pause von 15 Minuten wurden die Lernenden aufgefordert, den Fragebogen zur Einschätzung ihrer SW, ihres FSK und ihrer SWK auszufüllen. Unmittelbar danach begannen die Lernenden mit der Bearbeitung der oadL auf zur Verfügung gestellten Tablets. Die Bearbeitung der oadL erfolgte innerhalb eines 90-minütigen Zeitfensters und in Einzelarbeit. Nach dem Ende des ersten Vorkurstages sowie am darauffolgenden Distanztag stand die oadL den Lernenden weiterhin zur Verfügung, die Bearbeitung war jedoch optional. Zu Beginn des zweiten Präsenztages bearbeiteten die Lernenden erneut in einem 90-minütigen Zeitfenster die oadL. Danach folgte eine 15-minütigen Pause und im Anschluss daran eine erneute Testung des Fachwissens der Lernenden zu den Newtonschen Axiomen 1–3 sowie eine Befragung zu den von den Lernenden nach eigener Einschätzung bei der Bearbeitung der oadL genutzten Lernstrategien. Eine Übersicht über den Ablauf der Befragungen und der Zeitfenster für die Bearbeitung der oadL findet sich in Abbildung 22.

Abbildung 22

Übersicht zum Ablauf der Erhebung



Anmerkung. FSK: Fähigkeitsselbstkonzept

4.4 Stichprobe

Insgesamt nahmen 81 Studienanfängerinnen und Studienanfänger an dem Vorkurs zur Mechanik teil (im Wintersemester 2021/2022 45 Studienanfängerinnen und Studienanfänger, im Wintersemester 2022/2023 36 Studienanfängerinnen und Studienanfänger). 55 Studienanfängerinnen und Studienanfänger nahmen dabei an allen Befragungen teil, bearbeiteten zudem die oadL an beiden Präsenztagen und sind somit in dem der vorliegenden Arbeit zu Grunde liegenden Datensatz enthalten. Die 55 Studienanfängerinnen und Studienanfänger setzen sich aus 19 Studienanfängerinnen und 36 Studienanfängern zusammen. Davon sind 4 Studienanfängerinnen und Studienanfänger in den Studiengang Materialwissenschaften, 27 in Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen, 13 in den Bachelorstudiengang Physik, 10 in L3 (Lehramt für gymnasiale Oberstufe) und eine Studienanfängerin in L2 (Lehramt für Haupt- und Realschule) eingeschrieben.

Für eine vollständige Teilnahme an allen Befragungen/Tests inklusive einer Bearbeitung der oadL an beiden Präsenztagen erhielten die Teilnehmenden eine Probandenvergütung in der Höhe von 20 €.

5 Auswertung

Die Methodik der Auswertung der erhobenen Daten basiert auf der in Kapitel 4 vorgenommenen Unterteilung der Daten in Dispositionen der Lernenden, die mittels Fragebögen vor oder nach der Bearbeitung der oadL erfasst wurden (siehe Kapitel 4.1) und die Performanz der Lernenden bei der Bearbeitung der oadL (siehe Kapitel 4.2). Die Auswertung des Lernerfolgs in Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL als Variable zur Einschätzung der Effektivität des SRL wird hier aufgrund der gleichen Auswertungsmethodik zu den Dispositionen im Kapitel der Dispositionen (siehe Kapitel 5.1) beschrieben. Die Auswertung der erfassten Bearbeitungsprozesse der Lernenden wird in Kapitel 5.2 beschrieben. Der explorative Versuch der Verbindung beider Daten (Dispositionen und Performanz) mittels verschiedener Methoden (u. a. Korrelationsanalysen und Regressionsmodellen) wird in Kapitel 5.3 dargelegt.

5.1 Auswertung von Dispositionen und Lernerfolg

Die über die verschiedenen bereits erprobten Tests und Fragebögen (siehe Tabelle 2) erfassten Rohwerte wurden in der hier vorliegenden Arbeit zunächst unter Annahme der probabilistischen Testtheorie mittels eindimensionaler *Rasch-Modelle*²⁰ ausgewertet, um so die *Person-Measures* für die anschließend deskriptiven und inferenzstatistischen Analysen zu schätzen. Durch die Rasch-Modellierung wurden zudem die unterschiedlichen Versionen des Fachwissenstests, die im Prä- und Posttest eingesetzt wurden, miteinander verknüpft, um sicherzustellen, dass die zu den einzelnen Messzeitpunkten geschätzten Person-Measures miteinander verglichen werden können. Die Verknüpfung wurde mittels der „Stacking-Methode“ durchgeführt (Linacre, 2014). Für die Schätzung der Person-Measures wurde das Programm „Winsteps“ (Version 4.4.4; Linacre, 2014) genutzt. Im Zuge der Rasch-Modellierung wurden zentrale Merkmale zur Passung des Rasch-Modells und der Güte der Modellierung geprüft. Hierzu gehörte die Überprüfung der Passung der Items (*Item-Fit-Statistik*), die Analyse der Passung zwischen Personenfähigkeiten und Aufgabenschwierigkeiten (*Wright-Map*) und die Überprüfung der Reliabilitäten (*Person-Reliability*; vergleichbar mit *Cronbachs Alpha*; Linacre, 2014). Im Folgenden wird auf jeden dieser Prüfschritte näher eingegangen und anschließend dargestellt, wie die „Stacking-Methode“ zur Verknüpfung der Testhefte umgesetzt wurde.

²⁰ Basis der Auswertung ist dabei die Annahme, dass die richtige Beantwortung eines Items sowohl von der Fähigkeit der Person als auch von der Schwierigkeit des Items abhängt (Linacre, 2014).

5.1.1 Rasch-Modellierung und Schätzung von Person-Measures

Item-Fit-Statistik

Durch die Item-Fit-Statistik wurde die Passung zwischen den beobachteten Daten und den auf Basis der geschätzten Modellparametern des Rasch-Modells zu erwarteten Ergebnissen geprüft. Die auf den Residuen basierend gewichteten *Infit*- und ungewichteten *Outfit*-Werte der *Mean-Square-Fit-Statistik* (MNSQ) wurden im Forschungsprojekt zur Einschätzung der Passung der Items herangezogen. Items mit einem Infit- und Outfit-Wert zwischen 0,7 und 1,3 wurden als gut funktionierende Items angesehen (Boone et al., 2014, S. 166). Items, deren Infit- oder Outfit außerhalb dieser Grenzen lagen und deren *z-standardisierter Wert* (ZSTD) außerhalb des Intervalls von -2 bis 2 lagen ($ZSTD > |2|$), wurden unter Anbetracht der Signifikanzgrenze von $p < 0,05$ als misfitting Items bewertet (Linacre, 2014, Kapitel 19.44), inhaltlich kritisch geprüft und z. T. aus der Analyse ausgeschlossen (Boone et al., 2014; Linacre, 2014).

Wright-Map

Die Wright-Map visualisiert die Verteilung der Itemschwierigkeiten und der Personenfähigkeiten auf einer gemeinsamen Skala mittels einer eindimensionalen Karte. Durch diese konnte u. a. überprüft werden, inwiefern die Personenfähigkeiten der Lernenden durch die unterschiedlichen Itemschwierigkeiten abgebildet bzw. differenziert werden konnten. Decken bspw. die Itemschwierigkeiten nur einen kleinen Teil des Spektrums der Personenfähigkeiten ab, so muss bei der Auswertung der Ergebnisse darauf geachtet werden, dass die verschiedenen geschätzten Personenfähigkeiten möglicherweise in bestimmten Fähigkeitsbereichen nicht ausreichend über die gegebenen Itemschwierigkeiten differenziert werden können und somit Ergebnisse in ihrer Korrektheit und Allgemeingültigkeit eingeschränkt werden müssen.

Person-Reliability

Die Person-Reliability gibt Auskunft über die Zuverlässigkeit und Konsistenz der Testergebnisse für eine einzelne Person. Je höher die Person-Reliability, desto besser kann das zu erfassende latente Personenmerkmal auf der Skala gemessen werden, desto besser können Personen bzgl. der Ausprägung dieses Merkmals differenziert werden und umso zuverlässiger können die Ausprägung der Merkmale einzelner Personen betrachtet werden. Die Person-Reliability ist mit Cronbachs-Alpha aus der klassischen Testtheorie vergleichbar, fällt jedoch meist etwas niedriger aus (Linacre, 2014).

Verbindung der verschiedenen Testhefte mittels Stacking

Die „Stacking-Methode“ wurde genutzt, um die Itemschwierigkeiten der durchgeführten Fachwissenstests (prä und post; zu den Newtonschen Axiomen 1–3) über die genutzten Ankeritems (Items bzw. Aufgaben, die in beiden Tests gleich sind) anzugleichen. Durch die innerhalb der Fachwissenstests genutzten Ordered-Multiple-Choice-Aufgaben wurde bei der Auswertung des Fachwissens statt eines dichotomen Rasch-Modells das Partial-Credit-Modell zur Analyse von polytomen Items genutzt (Linacre, 2014). Nach einer einzelnen Auswertung beider Tests (als Voraussetzung für die Stacking-Methode; Linacre, 2014) konnte eine zusammengefasste Variante beider Tests analysiert werden. Durch diese Auswertung wurden allen Lernenden jeweils zwei Merkmalsausprägungen bzgl. ihres Wissens zur Mechanik zugeordnet (prä und post). Die Differenz beider Ausprägungen ($\text{Person-Measure}_{\text{Post}} - \text{Person-Measure}_{\text{Prä}}$) entspricht einer Näherung des Lernerfolgs in Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL (Ene & Ackerson, 2015; Planinic et al., 2019).²¹

Ergebnisse der Raschmodellierung

Alle mittels Fragebögen vor oder nach der Bearbeitung der oadL erhobenen Daten zu den Konstrukten des FSK, der Zielorientierung, des Interesses, der SW, der SWK, der genutzten Lernstrategien und bzgl. des Fachwissens zu den Newtonschen Axiomen 1–3 wurden mittels Rasch-Analyse ausgewertet. Eine Zusammenfassung der Auswertung findet sich in Tabelle 4.

Tabelle 4

Übersicht über die Ergebnisse der Raschmodellierung

Konstrukt	F	W	PR	Hinweis
Fachwissen (prä)	✓	✓	0,88	Zwei Items von 20 Items (Items 1 und 14) wurden aufgrund eines Misfits, der durch technische Probleme der Dokumentation der Antworten erklärt werden konnte, aus weiteren Analysen entfernt.
Fachwissen (post)	✓	✓	0,83	

²¹ Durch das Ein-Gruppen-Prä-Post-Design der Erhebung kann der Lernerfolg hier nicht ausschließlich auf die Bearbeitung der oadL zurückgeführt werden. Wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit von Lernerfolg gesprochen, ist der Lernerfolg gemeint, der sich im Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL eingestellt hat.

5 Auswertung

Konstrukt	F	W	PR	Hinweis
Fachwissen (zsm.)	✓	✓	0,85	Zwei Items von 33 Items (Items 1 und 14) wurden analog zur einzelnen Auswertung der Tests aus der Analyse entfernt. Ein weiteres Item zeigte ebenfalls einen Misfit (MNSQ INFIT = 1,58; ZSTD = 2,28; OUTFIT = 1,62; ZSTD = 1,93), wurde jedoch in der Analyse belassen, da eine genaue Prüfung des Items keine Hinweise auf die Ursache des Misfits lieferte.
FSK	✓	✓	0,83	Ein Item von fünf Items (Item 3) wurde aufgrund eines Misfits, welcher durch die Formulierung der Adaption des Items begründet werden kann, aus der Analyse entfernt.
SW	✓	✓	0,65	Ein Item von sieben Items (Item 2) wurde aufgrund eines Misfits, welcher durch die Formulierung der Adaption des Items begründet werden kann, aus der Analyse entfernt.
SWK	✓	✓	0,84	
Interesse	✓	✓	0,87	Alle drei Skalen wurden zu einer Skala zusammengefasst. ^a Drei Items von 18 Items (Item 6, 17, 18) wurden aufgrund von Misfits, welche durch die sprachliche Adaption der ursprünglichen Items erklärt werden kann, aus der Analyse entfernt.
LZO	✓	(✓)	0,59	Geringe Abdeckung des Spektrums der hohen Personenfähigkeiten über die Itemschwierigkeiten.
ALZO	✓	(✓)	0,73	Geringe Abdeckung des Spektrums niedriger Personenfähigkeiten über die Itemschwierigkeiten.
VLZO	✓	(✓)	0,84	Geringe Abdeckung des Spektrums niedriger Personenfähigkeiten über die Itemschwierigkeiten.
AV	✓	✓	0,75	Zwei Items von acht Items (Items 1 und 6) wurden aufgrund eines Misfits, der durch den Bezug der Formulierung (Item 1 auf eine Prüfung, Item 6 auf andere Lernende) erklärt werden kann, aus der Analyse entfernt.

Anmerkung: F: Fit, W: Wright-Map, PR: Person-Reliability. Fit ✓: Itemfit nach Entfernung von Misfits (siehe Hinweisspalte) zwischen 0,7 und 1,3; Wright-Map ✓: alle Personenfähigkeiten werden durch Itemschwierigkeiten abgebildet, Wright-Map (✓): nicht alle Personenfähigkeiten können durch die Itemschwierigkeiten abgebildet werden (siehe jeweils Hinweisspalte).

^a Eine Differenzierung der Skalen des Interesses war für die hier vorliegende Untersuchung nicht relevant, da lediglich das Gesamtinteresse im weiteren Verlauf zu Auswertungszwecken genutzt wurde. Die *Unexplained Variance im ersten Kontrast* von 2,63 wurde daher nicht als Anlass einer möglichen Differenzierung verschiedener Dimensionen genutzt, obwohl sich im Plot des *standardisierten Residual Contrast* die unterschiedlichen Skalen abzeichneten.

Als Grund für die z. T. geringe Person-Reliability wird einerseits die geringe Anzahl an Items in den betroffenen Skalen (z. B. innerhalb der Skala der SW mit sechs Items) und andererseits die z. T. geringe Passung zwischen den Itemschwierigkeiten und den Personenfähigkeiten angenommen, die in der Wright-Map ersichtlich werden (z. B. bezüglich der Lernzielorientierung, siehe Hinweis Tabelle 4). Jenseits dieser punktuellen Schwierigkeiten in einzelnen Skalen, die bei der Interpretation zu berücksichtigen sind, lässt sich insgesamt festhalten, dass die Rasch-Modellierung der Skalen gelungen ist und von einer hohen Qualität der Schätzung der Person-Measures ausgegangen werden kann. Die Person-Measures konnten somit als intervallskalierte Maße für die Ausprägung des mit der jeweils genutzten Skala erfassten Merkmals angesehen und für weitere Analysen genutzt werden.

Neben den in Tabelle 4 genannten Skalen wurden im Rahmen der Erhebung außerdem noch ein Instrument zur Erfassung der Lernstrategien von Lernenden eingesetzt (vgl. Kapitel 4.1). Diese Skalen wurden jedoch im Zuge dieser Arbeit aufgrund des Forschungsschwerpunktes des Forschungsvorhabens auf dem beobachtbaren Verhalten (Performanz) und der Verbindung zwischen den Dispositionen, dem Lernerfolg und der Performanz ohne den Schritt einer Zuordnung von möglichen angewendeten Lern- und Regulationsstrategien nicht ausgewertet (siehe Kapitel 3).

5.1.2 Statistische Analysen bzgl. der Dispositionen und des Lernerfolgs

Nach der Berechnung des Lernerfolgs der Lernenden in Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL wurde der Lernerfolg gemeinsam mit den Dispositionen der Lernenden analysiert. Um einerseits die Beziehung zwischen den Dispositionen selbst (z. B. Interesse und Lernzielorientierung) und andererseits zwischen den Dispositionen und dem Lernerfolg (z. B. Interesse und Lernerfolg) spezifizieren zu können, wurden *Korrelations-* und *Regressionsanalysen* (einfache und multiple lineare Regressionen sowie Mediations- und Moderationsmodelle; Hayes, 2017) herangezogen. Zur Identifikation von möglicherweise vorliegenden nicht linearen Zusammenhängen, wurden vor der Berechnung von Korrelations- oder Regressionsanalysen zugehörige Streudiagramme der zu untersuchenden Variablen betrachtet (für einen Einblick in die Streudiagramme siehe Anhang D) und Ausreißer (z-standardisierter Wert größer $|2,68|$) aus den Analysen entfernt. Genutzt dafür wurde „IBM SPSS“ (Version 29).

5.2 Auswertung der Performanz

Angesichts der Quantität der erhobenen Daten (Navigationsverhalten, Selbsteinschätzung, Emotion, Attribution, Erleben, Testlösungen und Aufgabenlösungen; siehe Tabelle 2), wurde im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsvorhabens nur ein Teil dieser Daten ausgewertet. Der Fokus lag dabei primär auf dem Navigationsverhalten der Lernenden. Im Vordergrund der Auswertungen standen daher die Logfiles. Über die darin aufgenommenen Daten wurden sowohl *Prozessmerkmale* zur Beschreibung und zum Vergleich der Bearbeitungsprozesse berechnet als auch mit Hilfe von Prozessdiagrammen und *Lineplots* die Navigationspfade der Lernenden visualisiert.

5.2.1 Prozessmerkmale

Sowohl zur Differenzierung der Bearbeitungsprozesse als auch zum Vergleich dieser Prozesse zwischen den unterschiedlichen Lernenden wurden eine Reihe von unterschiedlichen Prozessmerkmalen berechnet. Ein Prozessmerkmal bezeichnet dabei jeweils eine aus den Logfiles ableitbare Variable/Größe, die den Bearbeitungsprozess der einzelnen Personen charakterisiert (z. B. basierend auf den Daten der Logfiles die durchschnittliche Dauer der Bearbeitung eines Tests). Mit Hilfe von „Python“ (Version 3.10.7) und „PyCharm“ (Version 11.0.13) wurden die von der oadL generierten Logfiles zur Berechnung der Prozessmerkmale genutzt. Dafür wurden zunächst überflüssige Informationen (z. B. das von den Lernenden benutzte Betriebssystem) aus den Logfiles entfernt. Anschließend wurden die Einträge nach Nutzer kategorisiert und verschiedene Daten zur u. a. einfacheren Interpretation transformiert (z. B. Gesamtzeit innerhalb der oadL von Sekunden in Minuten). Mittels eines *Crawlers* (Programm zum automatisierten Durchsuchen und Indizieren von Web-Sites) wurde eine Analyse der Struktur der oadL durchgeführt und eine Indizierung aller Seiten der oadL vorgenommen, sodass eine eindeutige Reihenfolge der verschiedenen Seiten trotz der offen gestalteten oadL vorliegt. Die Reihenfolge der unterschiedlichen Themenblöcke und Themen ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Zur ersten Analyse der Performanz der Lernenden wurden zunächst allgemeine Prozessmerkmale wie die Anzahl der Klicks, Anzahl der Aufrufe von Seiten zu einem bestimmten Thema (z. B. „Kraft und Wirkung“, „Kraft und Gegenkraft“), einer bestimmten Aktivität (z. B. Instruktion oder Beispiele lesen, Kurzaufgaben, Übungsaufgaben oder Tests bearbeiten) oder eines Wissensbereichs (Grundwissen, erweitertes Wissen) sowie die in der oadL insgesamt, in einem bestimmten Themen-, Wissensbereich oder mit einer bestimmten Aktivität verbrachte Zeit ausgewertet. Eine Übersicht zu allen in der

Auswertung berücksichtigten berechneten Prozessmerkmalen findet sich in Tabelle 5. Diese sind basierend auf der in Kapitel 2 vorgenommenen Unterteilung der Performanz in Mikro-, Meso- und Makroprozesse kategorisiert. Während sich die Prozessmerkmale der Mikroebene auf einzelne Seiten und Aufgaben beziehen, beziehen sich Prozessmerkmale der Mesoebene auf die Navigation zwischen den verschiedenen Seiten und der Makroebene auf den gesamten Bearbeitungsprozess der oadL.

Tabelle 5

Übersicht über berechnete Prozessmerkmale zur Beschreibung der Performanz

Merkmal	Beschreibung
Mikroebene	
Durchschnittliche Zeit pro Seite	Durchschnittliche Verweildauer auf einer Seite (Differenz zwischen dem Aufruf einer Seite und dem Aufruf einer anderen Seite) in Sekunden. Berechnet für alle Seiten und beliebigen Kombinationen
Anteil an kurzen Seitenaufrufen	Anteil an Seitenaufrufen, die kürzer als 3 Sekunden ^a waren, an allen aufgerufenen Seiten in Prozent.
Anteil an langen Seitenaufrufen	Anteil an Seitenaufrufen, die länger als eine Standardabweichung ^b über der mittleren Länge aller Seitenaufufe dieser Seite lagen, an allen aufgerufenen Seiten in Prozent.
Mesoebene	
Anteile der Zeit auf einzelnen Seiten	Anteil der Zeit, die die Lernenden auf einer bestimmten Seite oder aus beliebigen Kombinationen von Seiten verbracht haben (z. B. Anteil der Zeit auf Seiten mit einer Übungsaufgabe), an der Gesamtzeit innerhalb der digitalen Lernumgebung in Prozent.
Makroebene	
Gesamtklicks	Anzahl der aufgerufenen Seiten und damit der Einträge im Logfile als Absolutwert.
Gesamtzeit	Differenz der Zeiten zwischen dem Zeitstempel des letzten Seitenaufrufs und dem Zeitstempel des ersten Klicks in Sekunden. Als Zeitfenster werden einerseits die im Präsenzkurs vorgegebenen Zeitfenster genutzt, andererseits neue Zeitfenster für die Bearbeitung der Lernumgebung außerhalb des Präsenzkurses definiert. Mit dem ersten Seitenaufruf außerhalb der Zeitfenster der Präsenzphasen wird ein Zeitfenster gestartet, mit dem letzten Klick auf welchen mindestens 30 Minuten kein weiterer Klick folgt, das Zeitfenster beendet.

Feature	Beschreibung
Makroebene	
Anteil an Seitenwechsel auf eine folgende oder vorherige Seite	Anteil der Seitenwechsel auf eine durch den Crawler identifizierte folgende oder vorherige Seite sowie beliebige Kombinationen verschiedener Seiten (bspw. durch die Zusammenfassung von Seiten zu einem Thema: Anteil der Themenwechsel in folgendes oder vorheriges Thema an allen Seitenwechsel in Prozent).

Anmerkung. Die Prozessmerkmale wurden basierend auf den Logfiles der Bearbeitung der Lernumgebung berechnet.

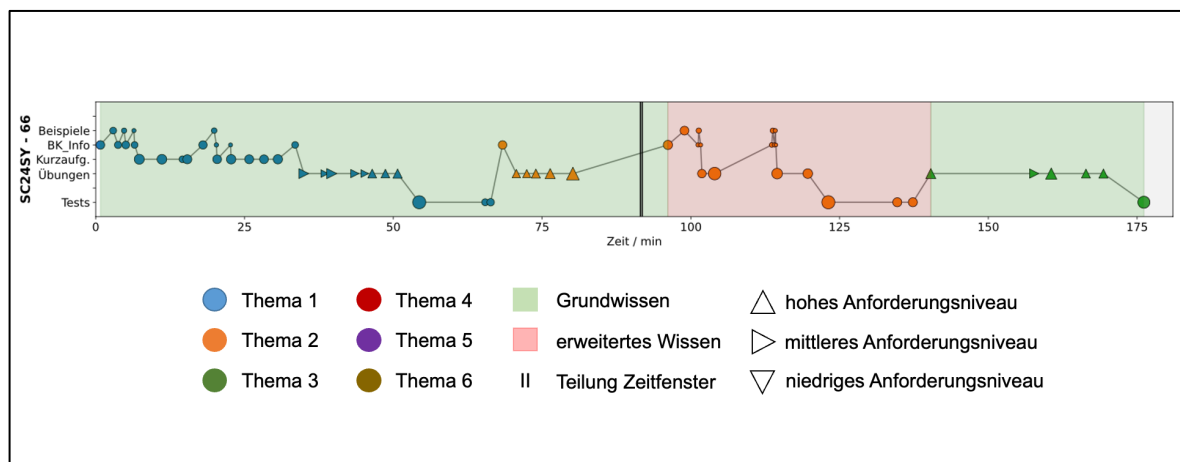
^a Drei Sekunden wurde als eine Zeit/Verweildauer auf einer Seite festgelegt, in der weder Inhalte bearbeitet noch der gesamte Inhalt einer Seite überflogen werden kann. ^b Dieser Wert wurde als eine erste explorative Näherung zur Kategorisierung von Seitenaufrufen herangezogen.

5.2.2 Prozessanalysen

Zur Analyse der Bearbeitungsprozesse der Lernenden der oadL wurden im Forschungsprojekt zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze genutzt. Einerseits wurden die Navigationsprozesse einzelner Lernenden in den Blick genommen, andererseits wurden die Prozesse kumuliert über alle Lernenden und damit die allgemeine Bearbeitung der oadL betrachtet. Während zur Auswertung der individuellen Prozesse insbesondere Lineplots zur Visualisierung u. a. der Reihenfolge der Bearbeitung oder die Dauer einzelner Bearbeitungsschritte qualitativ untersucht wurden, wurden die über alle Lernenden kumulierten Prozesse und damit u. a. das typisches Navigationsverhalten bei der Bearbeitung der oadL mit Hilfe einer Process-Mining Software in den Blick genommen.

Auswertung individueller Prozesse mit Lineplots

Zur Visualisierung des Navigationsverhaltens der einzelnen Lernenden wurden über die Programme „Python“ und „PyCharm“ Lineplots generiert. Diese können genutzt werden, um mehrere Datenreihen (hier Navigationsverhaltensmuster) vergleichen zu können. In den Lineplots wird die zeitliche Reihenfolge der Navigation der Lernenden grafisch dargestellt; auf der Ordinatenachse werden dazu die verschiedenen möglichen Aktionen innerhalb der Lernumgebung aufgetragen (z. B. Instruktionen, Beispiele, Übungsaufgaben) und auf der Abszissenachse die Zeit. Neben der Navigation der Lernenden zwischen den Aktionen, wird mit Hilfe weiterer grafischer Elemente auch das Themengebiet, das Anforderungsniveau gewählter Übungen, die Dauer der Seitenaufrufe und die Bearbeitung von Grund- oder erweitertem Wissen dargestellt. Ein Beispiel für einen solchen Lineplot findet sich in Abbildung 23. Über den Code auf der linken Seite des Lineplots kann jeder Lineplot einer/einem Lernenden zugeordnet werden.

Abbildung 23*Beispiel eines Lineplot*

Anmerkung. Auf der Abzissenachse wird die Zeit in Minuten dargestellt. Die Farben der Kreise und Dreiecke beziehen sich auf die unterschiedlichen Themenblöcke. Die Größe der einzelnen Formen sowie der Abstand zwischen zwei Formen visualisiert die Zeit, die auf einer Seite verbracht wurde. Die Hintergrundfarbe stellt den Wissensbereich (Grundwissen oder erweitertes Wissen) dar. Instruktionseiten werden innerhalb der Lineplots als „BK_Info“ dargestellt.

Zur Analyse der Lineplots wurden die Lineplots verschiedener Lernender qualitativ/optisch miteinander verglichen und explorativ nach Ähnlichkeiten und Unterschieden gesucht. Als Basis für mögliche Ähnlichkeiten/Unterschiede wurden nicht nur die einzelnen, innerhalb der Lineplots abgebildeten Aktivitäten (z. B. Instruktionen, Beispiele, Kurzaufgaben), Wissensbereiche (Grundwissen oder erweitertes Wissen) oder die Dauer der Bearbeitung genutzt, sondern darüber hinaus auch Kombinationen aus Aktivitäten, Wissensbereichen, gewählten Anforderungsniveaus oder der Bearbeitungszeit. Zudem wurde ausgehend von einer Sortierung der Lineplots nach dem von den Lernenden erreichtem Lernerfolg (in Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL) nach Ähnlichkeiten und Unterschieden in den Navigationsmustern gesucht (siehe Anhang C).

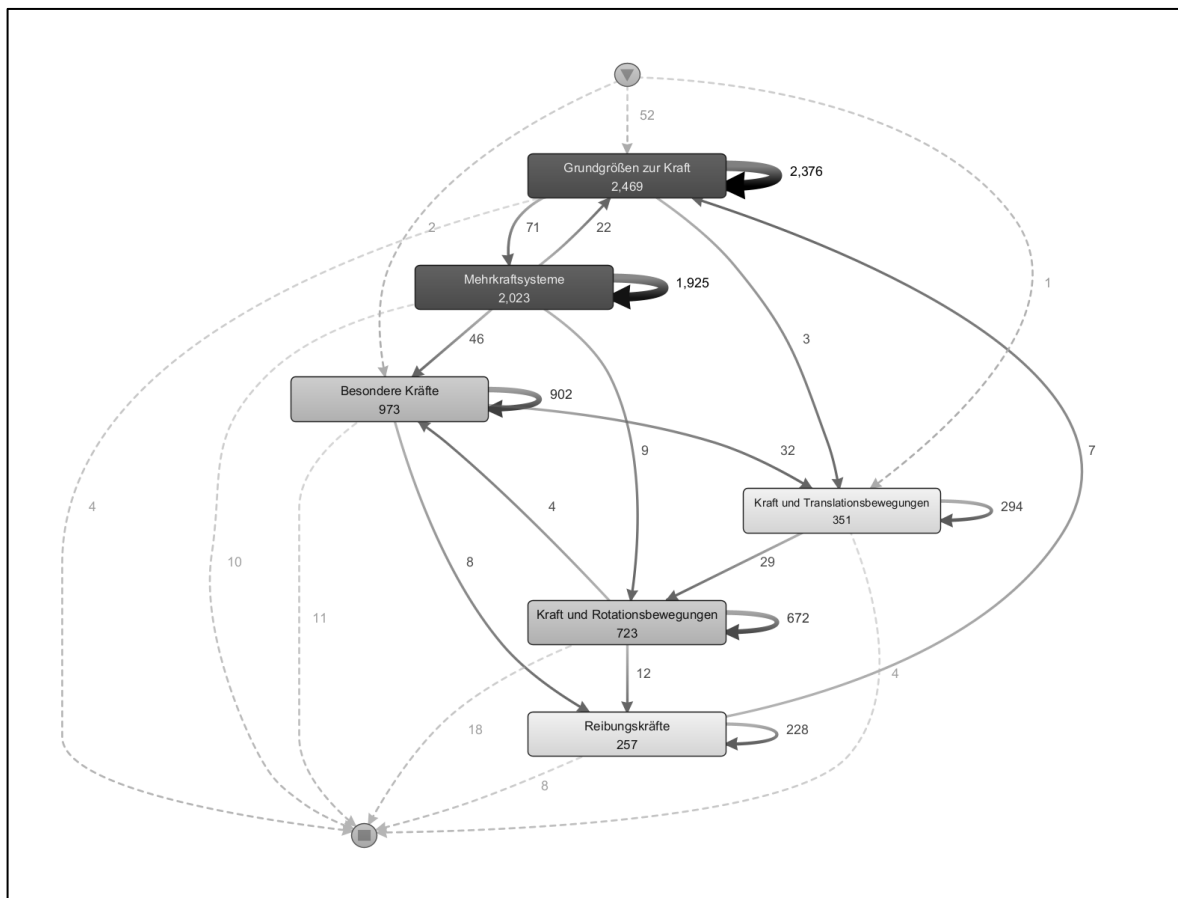
Auswertung der kumulierten Prozesse mittels Process Mining

Um zu untersuchen, ob sich jenseits des individuellen Nutzungsverhaltens auch auf Stichprobenebene typische Bearbeitungsprozesse zeigen, wurde das Navigationsverhalten chronologisch und kumuliert über alle Lernende mit Hilfe eines „Process Miners“ ausgewertet. „Process Miner“ sind in der Lage große Datenmengen zu analysieren und den tatsächlichen Ablauf von Prozessen (hier Navigationsverhalten der Lernenden innerhalb der oadL) zu rekonstruieren und zu visualisieren. Zudem können statistische Analysen und

Trendanalysen durchgeführt oder Verhaltensmuster extrahiert werden. Mit Hilfe des Programms „Fluxicon Disco“ (Version 3.4.3) wurden, basierend auf ausgewählten Prozessmerkmalen und der Logfiles, Häufigkeiten für bestimmte Abfolgen verschiedener Seiten der oadL berechnet und anschließend in Prozessdiagrammen visualisiert. Die Einstellung des Detailgrades der Auflösung von verschiedenen Aktivitäten (bspw. dem Aufruf von verschiedenen Themenblöcken; siehe Abbildung 24) sowie verbindenden Pfaden wurden unter der Prämisse der für eine Analyse notwendigen Übersichtlichkeit der Prozessdiagramme höchstmöglich gewählt und wird jeweils mit den Prozessdiagrammen angegeben. Exemplarisch wird in Abbildung 24 die Navigation der Lernenden zwischen den verschiedenen Themenblöcken der oadL visualisiert. Während die sechs Kästen innerhalb der Abbildung die sechs Themenblöcke der oadL darstellen, visualisieren die Verbindungen zwischen diesen die Absolutwerte der Übergänge zwischen den Themenblöcken. Folgt auf eine Seite, die bspw. Themenblock 2 zugeordnet ist, eine Seite, die Themenblock 3 zugeordnet ist, wird dieser Übergang über einen Pfad zwischen beiden Blöcken visualisiert. Je dicker der Pfad dargestellt ist, desto häufiger wurde dieser Übergang zwischen den Themenblöcken von den Lernenden bei der Bearbeitung der oadL genutzt. Durch die Einstellung der Detailschärfe kann einerseits über die Anzahl der dargestellten Themenblöcke (bei einer niedrigen Detailschärfe fallen wenig frequentiert besuchte Themenblöcke aus der Visualisierung), andererseits über die Anzahl der dargestellten Pfade (bei einer Detailschärfe von 100 % werden alle Übergänge abgebildet, bei einer niedrigeren Detailschärfe fallen Übergänge, die nur selten genutzt wurden, aus der Abbildung) entschieden werden.

Abbildung 24

Beispiel eines Prozessdiagramms



Anmerkung. Die Detailschärfe bezüglich der Themenblöcke liegt hier bei 100 %, die Detailschärfe bezüglich der Übergänge bei 97,5 %. Das Prozessdiagramm basiert auf den mittels Logfiles erfassten Bearbeitungsprozessen von $N = 55$ Lernenden.

Die durch den „Process Miner“ analysierten Übergänge zwischen verschiedenen Seiten der oadL wurden zunächst für eine deskriptive Auswertung der Bearbeitungsprozesse der entworfenen oadL genutzt. So konnte sowohl ein Eindruck von der allgemeinen Nutzung der oadL sowie u. a. der Linearität der Bearbeitung der oadL gewonnen werden.

5.3 Auswertung der Zusammenhänge zwischen Dispositionen, Performanz und Lernerfolg

Um mögliche Zusammenhänge zwischen den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden, deren Performanz sowie deren Lernerfolg feststellen zu können, wurden eine Reihe von unterschiedlichen statistischen Methoden eingesetzt. Dazu gehörten einerseits Korrelationsanalysen (aufgrund der intervallskalierten Daten wurde hier der Pearson-Korrelationskoeffizient zur Berechnung gewählt), die u. a. dafür genutzt wurden,

Zusammenhänge zwischen den berechneten Prozessmerkmalen, dem Lernerfolg und den dispositionellen Ausprägungen zu identifizieren. Als Ausreißer wurden alle Lernende aus der Korrelationsanalyse zwischen zwei Variablen ausgeschlossen, deren z-standardisierter Wert mindestens einer der beiden Variablen größer als $|2,68|$ ist. In einem zweiten Schritt wurde das Zusammenwirken der so identifizierten Variablen und mögliche Interaktionseffekte mittels Regressionsanalysen untersucht. Andererseits wurden im Zuge der Analyse auch explorative Verfahren genutzt, um unterschiedlichen Typen der Bearbeitungen zu identifizieren (siehe FF2, Kapitel 3). Hierzu kamen u. a. *Clusteranalysen* zum Einsatz, auf deren Basis anschließend mit Hilfe von *t-Tests* mögliche Unterschiede zwischen den Personen in den einzelnen Gruppen untersucht wurden.

Clusteranalyse

Zur explorativen Analyse der Daten sowie zur Identifikation von Gruppen unterschiedlicher Lernender, die sich bzgl. ausgewählter Dispositionen und/oder Prozessmerkmalen ähnlich sind, wurden Clusteranalysen genutzt. Um verschiedene Gruppen zu identifizieren, wurde die für intervallskalierte Daten geeignete hierarchische Clusteranalyse herangezogen (zur Exploration von Daten eignen sich u. a. agglomerative Cluster-Methoden wie k-Means hier nicht; vgl. Stein & Vollnhals, 2011). Zur Identifikation von Gruppen mittels Clusteranalyse wurden die Voraussetzungen für eine Durchführung der Clusteranalyse geprüft, zu denen u. a. die Homogenität der Varianzen gehört. Mittels der Ward-Methode zur Bildung von homogenen Gruppen wurde, basierend auf den z-standardisierten Werten der Variablen, die quadrierte euklidische Distanz als Abstandsmaß zwischen Lernenden genutzt. Ausreißer wurden im Vorfeld der Berechnung über die z-standardisierten Werte einer Variablen analog zur Korrelationsanalyse mittels eines Cut-Off-Wertes von $|2,68|$ aus den Analysen ausgeschlossen. Die Anzahl an Gruppen wurde durch den größten Abstand zwischen verschiedenen Clusterlösungen mittels *Dendogramm* gewählt (vgl. Stein & Vollnhals, 2011). Zur Bestätigung dieser Lösungen wurden mittels *t-Tests* oder *einfaktoriellen Varianzanalysen* Mittelwertunterschiede bzgl. verschiedener Mittelwerte dispositioneller Ausprägungen oder verschiedener Prozessmerkmale zwischen den einzelnen Gruppen berechnet und auf Signifikanz überprüft.

Mittelwertvergleiche

Die im Rahmen der Clusteranalyse gebildeten Gruppen wurden im hier beschriebenen Forschungsprojekt bezüglich verschiedener Variablen (u. a. Prozessmerkmale und dispositionelle Ausprägungen) durch einen Mittelwertvergleich untersucht. Dazu wurden die Mittelwerte bestimmter Variablen (z. B. Lernerfolg, durchschnittliche Zeit innerhalb der

oadL) der verschiedenen gebildeten Gruppen (zwei oder mehr Gruppen je nach Variable auf der die Clusteranalyse basiert) mittels t-Tests und einfaktorielle Varianzanalysen verglichen. Vor der Durchführung der Tests wurden die jeweils zu prüfenden Voraussetzungen (z. B. die Normalverteilung der Daten, die Varianzgleichheit der Gruppen) mit den entsprechenden Verfahren untersucht. Zur Einschätzung der Effektstärke eines Mittelwertunterschieds wurde Cohens d genutzt. Dabei wird entsprechend typischen Empfehlungen bei $d \geq 0,2$ von einem kleinen, bei $d \geq 0,5$ von einem mittleren und ab $d \geq 0,8$ von einem großen Effekt ausgegangen (Cohen, 1988). Zur Berechnung der Effektstärke von Gruppen unterschiedlicher Größe wurde die gepoolte Standardabweichung genutzt, bei abhängigen Stichproben (z. B. Prä-Post-Vergleichen) wurde Cohens d_z basierend auf den Differenzen zwischen den Gruppen berechnet (Cohen, 1988; Lakens, 2013; Thompson, 2007).

Bei der Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse wurden zusätzlich bei einem signifikanten Haupteffekt weitere Post-Hoc-Tests durchgeführt, um die Mittelwerte der einzelnen Gruppen paarweise zu vergleichen. Bei vorliegender Varianzgleichheit wurde der Dunnett-T3-Test, bei keiner Varianzgleichheit der gegen Verteilungsverzerrungen besonders robuste und für kleine Stichproben empfohlene Bonferroni-Test genutzt (vgl. Dunnett, 1980; Shingala & Rajyaguru, 2015).

6 Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung der Dispositionen, der Bearbeitungsprozesse der oadL (Performanz) und des Lernerfolges vorgestellt und diskutiert. Der Aufbau des Kapitels orientiert sich an den in der Theorie hergeleiteten Facetten (der Disposition und der Performanz; eine Auswertung der situationsspezifischen Fähigkeiten wurde in der hier vorliegenden Arbeit nicht vorgenommen; vgl. Kapitel 3) und damit verbunden den in Kapitel 3 formulierten Forschungsfragen. Zunächst werden die Facetten der Disposition und der Performanz separat betrachtet (Disposition und Lernerfolg in Kapitel 6.1, Performanz in Kapitel 6.2). Anschließend wird auf die Zusammenhänge sowohl zwischen diesen Facetten als auch zwischen den Facetten und dem Lernerfolg eingegangen (siehe Kapitel 6.3). Innerhalb jedes Abschnitts werden neben der Darstellung und der Diskussion der Ergebnisse auch mögliche weiterführende Fragen diskutiert.

6.1 Disposition und Lernerfolg

Um den Zusammenhang zwischen den Dispositionen der Lernenden und dem Lernerfolg analysieren und diskutieren zu können, werden zunächst die Dispositionen der Lernenden einzeln betrachtet und damit die der Datenerhebung zu Grunde liegende Gruppe der Lernenden beschrieben (Kapitel 6.1.1). Anschließend wird der Lernerfolg der Lernenden im Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL dargelegt und diskutiert (Kapitel 6.1.2), ehe in Kapitel 6.1.3 der Zusammenhang zwischen den Dispositionen der Lernenden und dem Lernerfolg betrachtet wird.

6.1.1 Dispositionen

Die basierend auf der probabilistischen Testtheorie vorgenommene Auswertung der Dispositionen der Lernenden wird im Folgenden in Verbindung mit der im jeweiligen zugehörigen Fragebogen genutzten Likert-Skala betrachtet. Durch die Verbindung der über die Rasch-Auswertung geschätzten dispositionellen Ausprägungen und der im Mittel gewählten Antworten auf der Likert-Skala, sollen die Lernenden sowohl individuell als auch das gesamte Sample differenzierter aufgelöst und eine mögliche Schiefe der Normalverteilung bezüglich der dispositionellen Ausprägungen identifiziert werden. Die Verteilung der verschiedenen performatorisch gemessenen Dispositionen der Lernenden des Samples wird zunächst einzeln betrachtet. Anschließend wird auf die zu vermutenden Zusammenhänge zwischen den Dispositionen (bspw. dem Zusammenhang zwischen FSK und der SW) eingegangen. Für die Darstellung der Ergebnisse zu den Dispositionen wird dabei immer davon ausgegangen, dass das Ankreuzverhalten auf einer Likert-Skala ein

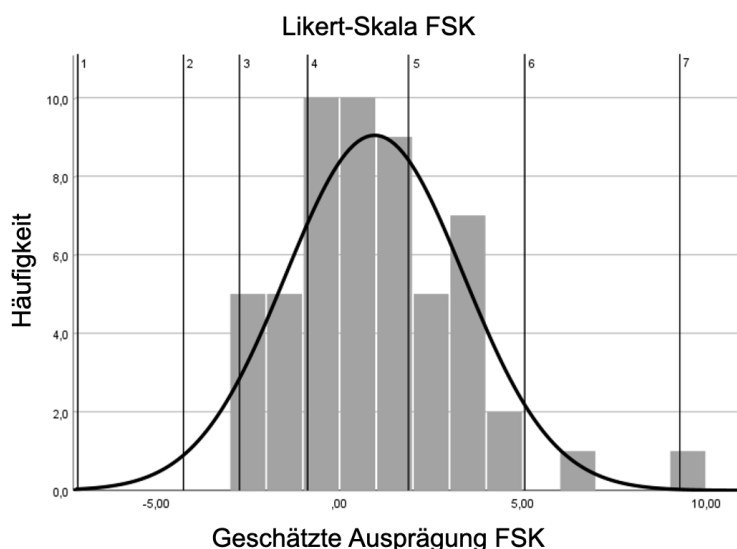
Indikator für die relative Höhe der entsprechenden Disposition ist: Niedrige Werte auf der Likert-Skala entsprechen niedrigen Ausprägungen der zugehörigen Dispositionen, hohe Werte entsprechen hohen Ausprägungen.²²

Fähigkeitsselbstkonzept (FSK)

Mit dem FSK wurde auf einer siebenstufigen Likert-Skala erfasst, wie Lernende ihre Fähigkeiten in Physik im Allgemeinen und in Mechanik im Besonderen einschätzen (siehe Kapitel 4.1). Der Mittelwert der Verteilung (siehe Abbildung 25) aller Lernenden ($N = 55$) liegt bei 0,96 ($SD = 2,43$), das entspricht einer durchschnittlichen Antwort der Lernenden von 4,75 auf der Likert-Skala. Der niedrigste Wert der mit Rasch geschätzten dispositionellen Ausprägung liegt bei $-2,73$ (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 3 auf der Likert-Skala), der höchste Wert bei 9,27 (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 7 auf der Likert-Skala). Der geschätzte Minimalwert wird fünf Lernenden zugeordnet. Der/die Lernende mit dem geschätzten Maximalwert wurde aufgrund des festgelegten Cut-Off-Wertes der z-standardisierten Variablen zum FSK ($z > |2,68|$; siehe Kapitel 5.3) als Ausreißer behandelt und bei weiteren Analysen ausgeschlossen.

Abbildung 25

Verteilung der dispositionellen Ausprägungen des Fähigkeitsselbstkonzepts



Anmerkung. $N = 55$. FSK: Fähigkeitsselbstkonzept. Dispositionelle Ausprägung des FSK mittels Rasch-Modell geschätzt.

²² Z. T. invertiert genutzte Skalen wurden bereits passend umkodiert.

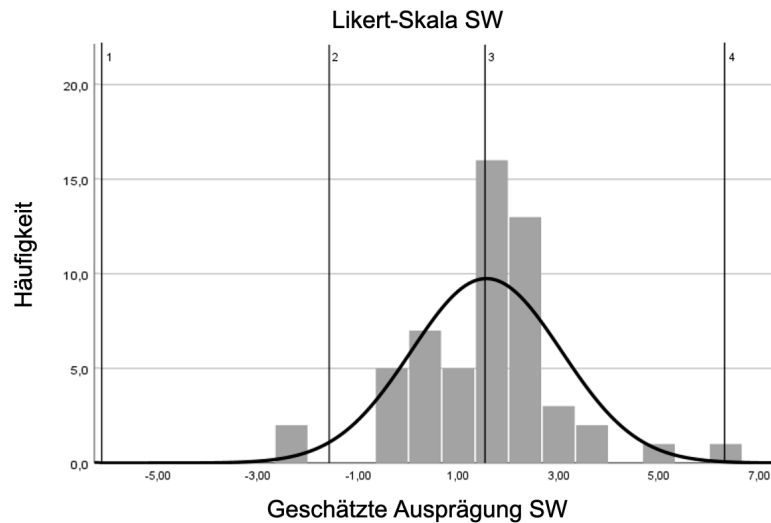
Diskussion. Die erkennbare Normalverteilung des FSK zeigt, dass sich im Sample sowohl Lernende mit eher hoher als auch Lernende mit eher niedriger Ausprägung des FSK kaum finden lassen. Das überrascht insofern, als dass sich der Vorkurs explizit an Lernende mit fehlenden Vorkenntnissen in Mechanik, aber in der Grundorientierung auch in Physik allgemein, richtete (siehe Anhang B). Hier wäre zu erwarten gewesen, dass die mittlere dispositionelle Ausprägung des FSK unterhalb des Mittelwertes der Likert-Skala (3,5) liegt. Gleichzeitig zeigt das Sample keine Lernenden mit einer sehr niedrigen Ausprägung des FSK (unterhalb von 3 auf der Likert-Skala). Studierende mit einem entsprechend niedrigem FSK nehmen vermutlich entweder das Studium nicht auf oder besuchen keinen Vorkurs, da sie sich möglicherweise nicht trauen oder ihre Motivation zu gering ist (vgl. entsprechende theoretische Überlegungen und empirische Befunde u. a. Breker, 2016; Elliot & Dweck, 1988).

Selbstwirksamkeit (SW)

Die physikbezogene SW als die Überzeugung der Lernenden, zukünftige Anforderungssituationen bezüglich Physik erfolgreich bewältigen zu können, wurde mittels einer vierstufigen Likert-Skala erfasst (siehe Kapitel 4.1). Der Mittelwert der geschätzten Ausprägungen der SW liegt bei 1,55 ($SD = 1,50$), das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 3 auf der Likert-Skala (siehe Abbildung 26). Das Minimum der geschätzten dispositionellen Ausprägungen liegt bei -2,63 (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 1,67 auf der Likert-Skala), das geschätzte Maximum liegt bei 6,30 (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 4 auf der Likert-Skala). Die Lernenden mit minimal und maximal geschätzten Werten (hier betrifft es drei Lernende) wurden, basierend auf dem festgelegten Cut-Off-Wert der z-standardisierten Variablen zur SW ($z > |2,68|$; siehe Kapitel 5.1.2), in weiterführenden Analysen zur SW ausgeschlossen.

Abbildung 26

Verteilung der dispositionellen Ausprägungen der Selbstwirksamkeit



Anmerkung. $N = 55$. SW: Selbstwirksamkeit. Dispositionelle Ausprägung der SW mittels Rasch-Modell geschätzt.

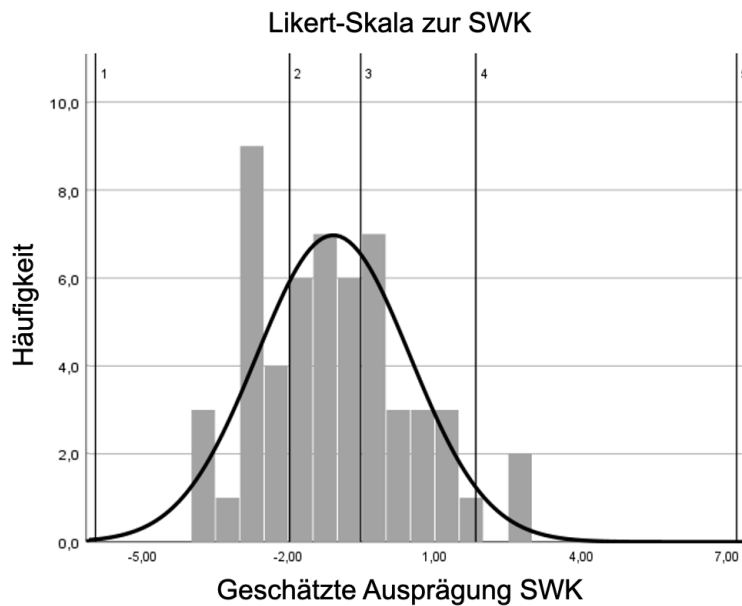
Diskussion. Analog zum FSK ist die SW der Lernenden des Samples eher hoch ausgeprägt. Lernende mit niedriger SW sind im Sample unterrepräsentiert. Zwar hängt die SW eng mit der Motivation der Lernenden zusammen (vgl. Lee et al., 2013; Pintrich & DeGroot, 1990; Schunk, 1991) und damit möglicherweise mit der Teilnahme an einem Vorkurs, dennoch wären auch Studierende (durch die Ausrichtung des Vorkurses auf Lernende mit fehlenden Vorkenntnissen in der Mechanik; siehe Anhang B) mit einer niedrigen SW im Sample zu erwarten gewesen.

Selbstwertkontingenz (SWK)

Die SWK der Lernenden, also die Abhängigkeit des eigenen Selbstwertes von äußeren Umständen wie hier den Leistungen innerhalb der Physik, wurde auf einer fünfstufigen Likert-Skala erfasst (siehe Kapitel 4.1). Der Mittelwert der Verteilung der SWK der Lernenden liegt über alle Lernenden ($N = 55$) bei $-1,08$ ($SD = 1,57$), das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von $2,57$ auf der Likert-Skala (siehe Abbildung 27). Das Minimum der geschätzten dispositionellen Ausprägungen liegt bei $-3,84$ (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von $1,29$ auf der Likert-Skala), das Maximum bei $2,53$ (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von $4,14$ auf der Likert-Skala).

Abbildung 27

Verteilung der dispositionellen Ausprägungen der Selbstwertkontingenz



Anmerkung. $N = 55$. SWK: Selbstwertkontingenz. Dispositionelle Ausprägung der Selbstwertkontingenz mittels Rasch-Modell geschätzt.

Diskussion. Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge bspw. zwischen der SWK und der Motivation (intrinsische Motivation kann mit einer niedrigen SWK, extrinsische Motivation z. T. mit einer hohen SWK zusammenhängen; vgl. Ryan & Deci, 2000; 2017) sowie der SWK und dem SRL (eine hohe SWK hängt u. a. mit einer höheren Anstrengungsbereitschaft, gleichzeitig jedoch auch mit einer häufigeren Nutzung von Oberflächen- statt Tiefenstrategien zusammen; vgl. Opelt & Schwinger, 2017) bedarf ein Vergleich mit der Literatur einer differenzierteren Auswertung, die an dieser Stelle nicht geleistet wird. Die in Abbildung 27 dargestellte Verteilung soll zunächst nur einen Überblick über die Zusammensetzung des Samples geben. Auf mögliche Zusammenhänge zwischen der SWK und dem Verhalten der Lernenden wird in Kapitel 6.3 eingegangen.

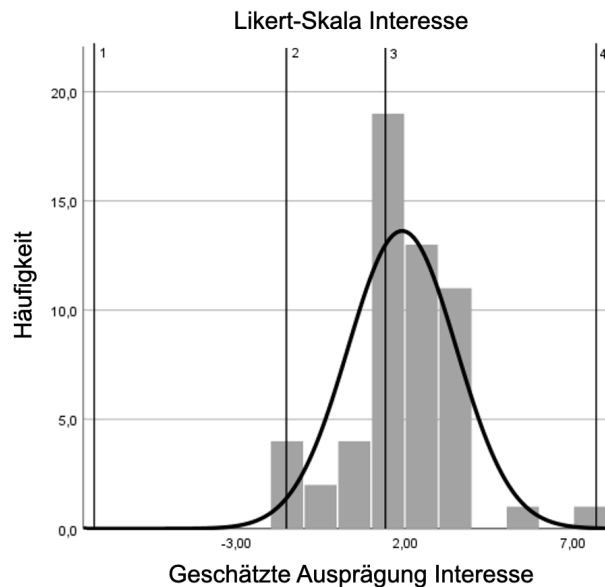
Interesse

Die Ausprägung des Interesses der Lernenden an der Physik wurde auf einer vierstufigen Likert-Skala erfasst (siehe Kapitel 4.1). Die geschätzte dispositionelle Ausprägung aller Lernenden ($N = 55$) liegt im Mittel bei 1,92 ($SD = 1,61$), das entspricht einer mittleren Antwort von 3,13 auf der Likert-Skala (siehe Abbildung 28). Das Maximum der geschätzten Ausprägungen liegt bei 7,67 (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 4 auf der Likert-Skala); dieser Wert wurde auf Basis des z-standardisierten Wertes der Variable

($z > |2,68|$; siehe Kapitel 5.1.2) aus weiterführenden Analysen zum Interesse ausgeschlossen. Die minimale Schätzung aller Ausprägungen liegt bei -1,52 (das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 2 auf der Likert-Skala).

Abbildung 28

Verteilung der dispositionellen Ausprägungen des Interesses



Anmerkung. $N = 55$. Dispositionelle Ausprägung des Interesses mittels Rasch-Modell geschätzt.

Diskussion. Mit Blick auf die Verteilung der geschätzten Ausprägungen des Interesses aller Lernenden wird deutlich, dass nicht interessierte Lernende im hier vorliegenden Sample unterrepräsentiert sind. Dieser Befund ist in Anbetracht der Auswahl der Lernenden (freiwillige Teilnahme an einem Vorkurs zur Mechanik vor Beginn des Studiums und dem Zusammenhang von Interesse und Motivation; vgl. Ainley et al., 2002; Krapp, 1999) erwartungsgemäß theoretischer Überlegungen und empirischer Befunde.

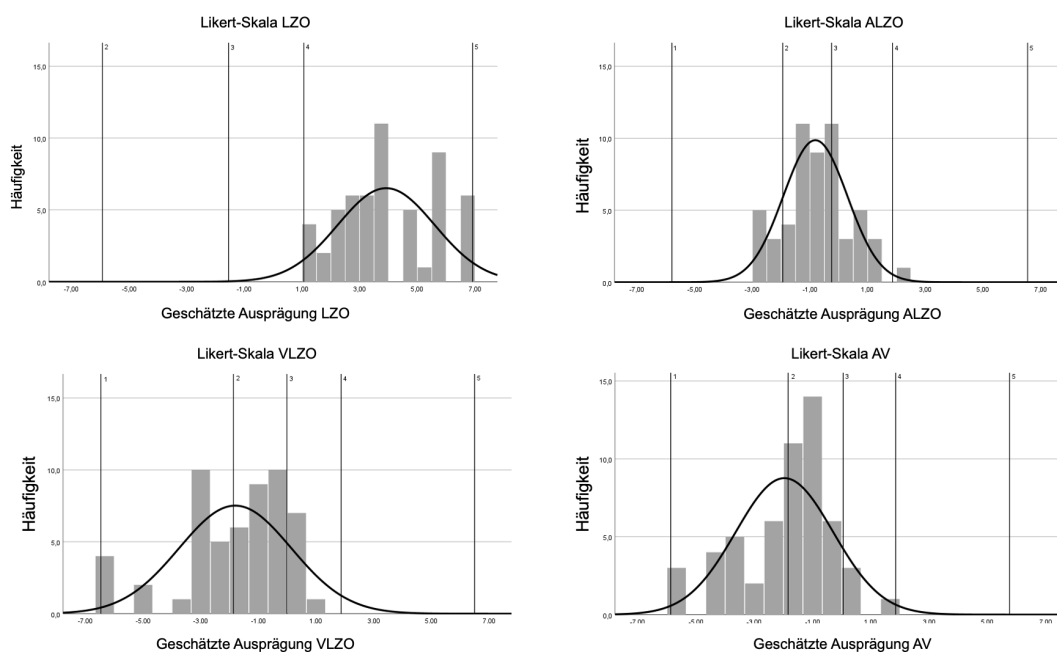
Zielorientierung

Die Zielorientierung (LZO, ALZO, VLZO und AV) als Neigung der Lernenden für eine bestimmte Art von Lern- und Leistungsziel (Stiensmeier-Pelster & Otterpohl, 2018) wurde mittels fünfstufiger Likert-Skala erfasst (siehe Kapitel 4.1). Der Mittelwert der geschätzten dispositionellen Ausprägungen aller Lernenden ($N = 55$) liegt in Bezug auf die LZO bei 3,92 ($SD = 1,69$), das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 4,63 auf der Likert-Skala (siehe Abbildung 29). Bezüglich der ALZO liegt der Mittelwert bei -0,81 ($SD = 1,11$), das

entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 2,71 auf der Likert-Skala. In weiterführenden Analysen zur ALZO wurde eine Lernende / ein Lernender aufgrund der vorher festgelegten Grenzen für Ausreißer ausgeschlossen. Der Mittelwert der VLZO aller Lernender liegt bei -1,81 ($SD = 1,95$), das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 2 auf der Likert-Skala. In Bezug auf die AV liegt der Mittelwert über alle Lernende bei -2,00 ($SD = 1,67$), das entspricht einer durchschnittlichen Antwort von 1,92 auf der Likert-Skala.

Abbildung 29

Verteilung der dispositionellen Ausprägungen der Zielorientierungen



Anmerkung. $N = 55$. LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung. Dispositionelle Ausprägung der Zielorientierung jeweils pro Zielorientierung mittels Rasch-Modell geschätzt.

Diskussion. Die hier erfassten Verteilungen der Zielorientierungen der Lernenden sind in Verbindung mit der Auswahl des Samples (Teilnahme an einem freiwilligen Vorkurs vor Beginn des Studiums) erwartungsgemäß theoretischer Überlegungen. Insbesondere die eher hohe durchschnittliche Ausprägung der LZO und die niedrige durchschnittliche Ausprägung der AV hängen eng mit der Motivation zusammen (vgl. Pintrich, 2005; Pintrich & DeGroot, 1990). Auffällig mit Blick auf das Sample ist, dass innerhalb der analysierten Gruppe von Lernenden, Lernende mit (1) einer hohen AV, (2) einer niedrigen LZO, (3) einer hohen VLZO, (4) einer niedrigen ALZO oder (5) einer hohen ALZO unterrepräsentiert sind.

Bei der folgenden Betrachtung von Zusammenhängen zwischen den Dispositionen und dem Lernerfolg oder den Dispositionen und der Performanz der Lernenden, muss die hier identifizierte z. T. fehlende Heterogenität des ausgewählten Samples berücksichtigt und stets als Einschränkung der Ergebnisse betrachtet werden.

Vorwissen und Wissen nach der Bearbeitung der Lernumgebung

Zur Einschätzung des Vorwissens der Lernenden zur Mechanik sowie darüber hinaus auch über den mit der Bearbeitung der oadL verbundenen Lernerfolg, wurde sowohl vor als auch nach der Bearbeitung der oadL ein Fachwissenstest eingesetzt (siehe Kapitel 4.1 sowie Kapitel 5.1.1). Die Auswahl der Itemschwierigkeiten wurde dabei aus einem größeren Aufgabenpool (Just & von Aufschnaiter, 2020; Just et al., 2023) so vorgenommen, dass die ausgewählten Items einen großen Anteil des Spektrums zu erwartender Personenfähigkeiten (basierend auf Auswertungen in Vorarbeiten; u. a. Just & von Aufschnaiter, 2020; Just et al., 2023) abdecken (siehe Kapitel 4). Um die Itemschwierigkeiten des Tests vor und nach der Bearbeitung der oadL anzugleichen, wurden beide Tests mit Hilfe der eingesetzten Ankeritems mittels „Stacking-Methode“ (siehe Kapitel 5.1) verbunden. Der Mittelwert der Verteilung der geschätzten Personenfähigkeiten des Vorwissens liegt bei 1,03 ($SD = 1,54$), der Mittelwert der Personenfähigkeiten nach der Bearbeitung der oadL bei 1,45 ($SD = 1,72$).²³

Bei einem Blick auf die über die Wright-Map abgebildeten Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten der mittels „Stacking-Methode“ verbundenen Tests (vor und nach der Bearbeitung der oadL) zeigt sich, dass im Bereich der vorhandenen hohen Personenfähigkeiten keine entsprechenden Itemschwierigkeiten liegen (siehe Abbildung 30).

²³ Auf den damit berechneten Lernerfolg der Lernenden in Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL wird in Kapitel 6.1.2 genauer eingegangen.

Durch die fehlenden Itemschwierigkeiten im Bereich der hohen Personenfähigkeiten kann zwischen den hohen Personenfähigkeiten durch die eingesetzten Tests nicht ausreichend differenziert werden. Um sowohl einer Verzerrung der Ergebnisse durch die fehlende Möglichkeit der Differenzierung von sehr hohem Vorwissen/Wissen²⁴ sowie damit verbunden der Berechnung des Lernerfolgs zu vermeiden, wird diejenige Personengruppe, deren Vorwissen/Wissen durch den Fachwissenstest nicht differenziert abgebildet werden kann, in Auswertungen zum Vorwissen/Wissen in einer separaten Gruppe zum Sample ausgewertet. Während die Lernenden mit sehr hohem Vorwissen/Wissen in der Gruppe „hohes Wissen“ (kurz: „hoWi“) zusammengefasst werden, werden alle anderen Lernenden in der Gruppe „erwartetes Wissen“ (kurz: „ewWi“)²⁵ zusammengefasst. In Tabelle 6 findet sich eine Auflistung aller Lernenden der Gruppe „hoWi“.

Tabelle 6

Personenfähigkeiten der Lernenden der Gruppe des „hohen Wissens“

Code	Geschätzte Personenfähigkeiten	
	im Prätest	im Posttest
CA13IS	4,75	5,97
DÜ12HE	4,75	5,97
GI17VI	4,75	5,97
SC24SY	4,75	4,69
LU28RE	4,75	3,89
FU14KE	3,42	4,69
KA02AN	3,42	4,69
ST01MA	3,42	3,89
KO31AN	3,42	3,89
LA12KA	3,42	3,89
GI15AN	2,08	3,89
KA16LY	1,82	3,37

Anmerkung. $n = 12$. Die Personenfähigkeit wurde mittels eines Rasch-Modells für Prä- und Posttest geschätzt. Prä- und Posttest wurden dabei mit Hilfe der „Stacking-Methode“ über Ankeritems miteinander verbunden.

²⁴ Vorwissen/Wissen bezieht sich auf das Wissen der Lernenden vor der Bearbeitung der oadL und das Wissen der Lernenden nach der Bearbeitung der oadL.

²⁵ „Erwartetes Wissen“ bezieht sich hier auf die Auswahl der Itemschwierigkeiten zur Testung des Vorwissens/Wissens basierend auf Auswertungen in Vorarbeiten (u. a. Just & von Aufschnaiter, 2020; Just et al., 2023).

Diskussion und weiterführende Fragen. Zusammenfassend über die verschiedenen im Forschungsprojekt erfassten Dispositionen der Lernenden kann das den Analysen der vorliegenden Arbeit ausgewählte Sample differenzierter beschrieben werden. Bei den im Vorkurs zur Mechanik (vor Beginn des ersten Semesters, freiwillige Teilnahme) vertretenen Studienanfängerinnen und Studienanfängern handelt es sich um eher interessierte und lernzielorientierte Lernende mit hohem Vorwissen/Wissen zur Mechanik, einer hohen SW, einem hohen FSK, die weder eine hohe VLZO noch eine hohe AV aufweisen. Aufgrund fehlender Itemschwierigkeiten im hohen Bereich des Vorwissens/Wissens der Lernenden zur Mechanik wurden 12 Lernende in einer separaten Gruppe zusammengefasst, deren Vorwissen/Wissen nicht differenziert über die Itemschwierigkeiten der Fachwissenstests abgebildet werden konnten. Diese Lernenden können zwar als eigenständige Gruppe weiterführend untersucht werden, verringern den verbleibenden Kern-Datensatz dennoch erheblich.

In Anbetracht der Zusammensetzung des Samples entspricht die eher niedrige VLZO, das hohe Interesse und die niedrige AV den theoretischen Erwartungen (siehe Kapitel 6.1.1) und muss als Einschränkung zugehöriger Ergebnisse betrachtet werden, da u. a. Lernende mit niedrigem Interesse im hier untersuchten Sample unterrepräsentiert sind. Die hohe Ausprägung des Vorwissens/Wissens sowie die ausschließlich hohe Ausprägung des FSK und der SW der Lernenden dagegen ist nicht gemäß vorherigen Erwartungen. Der Vorkurs wurde zur Wiederholung und Aufarbeitung von Lerninhalten der Schule (Mechanik der Oberstufe), insbesondere für Lernende, die in diesem Bereich der Physik Probleme haben, empfohlen (siehe Anhang B). Während in Bezug auf die dispositionellen Ausprägungen der Lernenden u. a. der Effekt der sozialen Erwünschtheit (vgl. Paulhus, 1991; Tourangeau & Yan, 2007), insbesondere in Bezug auf die hohen Ausprägungen des FSK und der SW, herangezogen werden können,²⁶ lässt sich das hohe Vorwissen/Wissen der Lernenden damit nicht erklären. Hier bieten sich Ansätze für weitere Untersuchungen.

Im Rahmen von weiterführenden Untersuchungen ist u. a. zu klären, aus welchem Grund Lernende mit einem niedrigen FSK, einer niedrigen SW oder einem niedrigen Vorwissen/Wissen (sofern diese unter den Studienanfängerinnen und Studienanfänger sind) nicht oder nur selten an dem zur Unterstützung der Studienanfängerinnen und Studienanfänger angebotenen Vorkurs teilnehmen. Eine Erfassung der dispositionellen

²⁶ Es ist anzunehmen, dass die durch die Rasch-Auswertung geschätzten Ausprägungen der Dispositionen die realen Personenparameter aufgrund des Effekts der sozialen Erwünschtheit (insbesondere durch den z. T. ersten Kontakt der Lernenden mit universitärer Lehre und universitärem Lehrpersonal) etwas überschätzen.

Ausprägungen aller Studienanfängerinnen und Studienanfänger, denen dieser Vorkurs angeboten wird, könnte zur Identifikation von Lernenden genutzt werden, die trotz einem niedrigen Vorwissen/Wissen, einem niedrigen FSK oder einer niedrigen SW nicht am angebotenen Vorkurs teilnehmen. Weiterführende Befragungen und möglicherweise eine Erfassung der Entwicklung dieser Lernenden über die ersten Semester könnten nicht nur helfen die Gründe einer Nichtteilnahme am Vorkurs zu identifizieren und damit möglicherweise Werbemaßnahmen gezielter durchführen zu können, sondern darüber hinaus auch Hinweise auf Unterstützungsmaßnahmen dieser Lernenden liefern.

In Anbetracht des hohen Vorwissens/Wissens der Lernenden sollte in aufbauenden Arbeiten bei der Zusammensetzung des Prä- und Post-Tests auf eine breitere Verteilung der Itemschwierigkeiten über alle Personenfähigkeiten geachtet werden (insbesondere auch über für einen Vorkurs zur Mechanik zunächst nicht erwartbaren hohen Bereichen des Vorwissens/Wissens). Gerade die Lernenden mit hohem Vorwissen/Wissen und damit verbunden möglicherweise einem großen Lernerfolg sind zur Untersuchung des SRL von besonderer Relevanz. So könnte mit Hilfe dieser Lernenden einerseits eine häufig in der Literatur genutzte Experten-Novizen-Kontrastierung vorgenommen werden (vgl. Champagne et al., 1982; Cleary & Zimmerman, 2001; Tokmak et al., 2012) und damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erhöht werden. Andererseits könnten auf die Bearbeitungsprozesse der Lernenden mit hohem Vorwissen/Wissen und damit verbunden möglicherweise großem Lernerfolg fokussiert werden und basierend darauf mögliche Ableitungen eines effektiven SRL getroffen werden (vgl. Azevedo et al., 2008; MacGregor, 1999).

Eine quantitative Erweiterung des Samples sowie die Erfassung weiterer Dispositionen der Lernenden könnte insbesondere in Bezug zur Klassifizierung von Lernenden einen großen Beitrag für das Forschungsprojekt leisten. So könnte nicht nur die Heterogenität des Samples vergrößert werden, sondern darüber hinaus auch Unterschiede zwischen den Lernenden über eine breitere Spanne von verschiedenen Dispositionen (bspw. der kognitiven Fähigkeiten der Lernenden, der Kompetenz der Lernenden im Umgang mit dem Computer und digitalen Lernumgebungen oder bisherigen SRL-Erfahrungen) untersucht werden. Insbesondere die kognitive Leistungsfähigkeit der Lernenden scheint dabei von besonderer Relevanz. So zeigt sich in bisherigen Arbeiten, dass Lernende mit besseren kognitiven Fähigkeiten nicht nur effektiver lernen, sondern darüber hinaus auch größere Fähigkeiten u. a. beim Problemlösen zeigen (vgl. Elshout, 1987; Leutner, 2002; Raaheim, 1988; Weise et al., 2020).

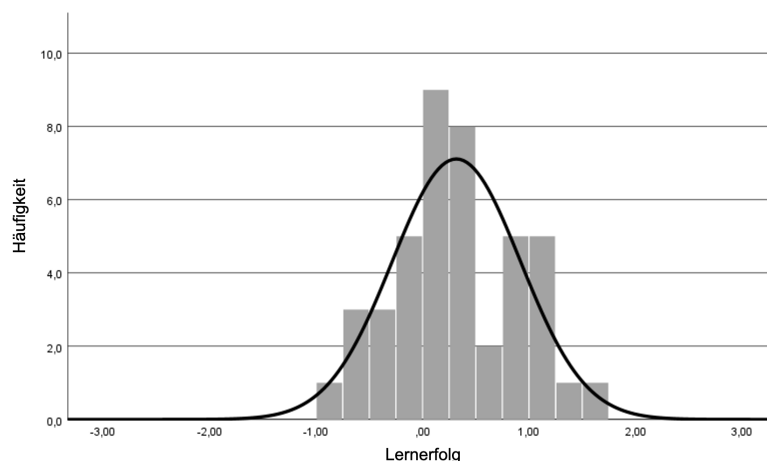
6.1.2 Lernerfolg

Zur Einschätzung der Effektivität des SRL kann als eine Komponente der Lernerfolg herangezogen werden (siehe Kapitel 2). Dieser wurde über die Differenz (geschätzte Personenfähigkeit_{Post} – geschätzte Personenfähigkeit_{Prä}) der über Rasch-Modelle geschätzten Personenfähigkeiten zwischen Prä- und Posttest berechnet (vgl. Pentecost & Barbera, 2013; vgl. Kapitel 5.1.1). Ist die Differenz der Personenfähigkeiten größer null, so ist die durch den Posttest geschätzte Personenfähigkeit größer als die durch den Prätest geschätzte Personenfähigkeit. Ist die Differenz negativ, so wird die Personenfähigkeit der/des Lernenden im Posttest niedriger eingeschätzt als im Prätest. Ausgeschlossen dabei werden alle Lernenden der Gruppe „hoWi“, deren Lernerfolg nicht reliabel und valide aufgrund fehlender Itemschwierigkeiten im Bereich der hohen Ausprägung des Vorwissens/Wissens berechnet werden kann (siehe Kapitel 6.1.1).

Im Mittel vergrößert sich die Personenfähigkeit von Prä- zu Posttest um 0,32 ($SD = 0,60$). Abbildung 31 zeigt die Verteilung dieses Lernerfolgs der Gruppe „ewWi“. Ein Vergleich der Personenfähigkeiten dieser Lernenden vor ($MW_{Pre} = 0,48$; $SD_{Pre} = 0,76$) und nach der Bearbeitung der oadL ($MW_{Post} = 0,85$; $SD_{Post} = 0,91$) mittels t-Test zeigt einen signifikanten mittleren Effekt bezüglich des Lernerfolgs ($t(46) = -3,730$, $p < 0,001$; $d_z = -0,441$).²⁷

Abbildung 31

Verteilung des Lernerfolgs der Lernenden der Gruppe des „erwarteten Wissens“



Anmerkung. $n = 43$. Abgebildet wird hier der Lernerfolg der Lernenden der Gruppe des „erwarteten Wissens“. Der Lernerfolg wurde berechnet über die Differenz der Personenfähigkeiten von Prä- und Posttest.

²⁷ Auch unter Hinzunahme der Gruppe „hoWi“ bleibt der Lernerfolg signifikant.

Diskussion und weiterführende Fragen. Im Rahmen der Auswertung des Lernerfolgs kann ein signifikanter Lernerfolg der Lernenden der Gruppe „ewWi“ in Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL festgestellt werden. Auch unter Hinzunahme der Lernenden der Gruppe „hoWi“ bleibt der Lernerfolg signifikant. Obwohl sich einige wenige Lernende zwischen den beiden Zeitpunkten der Erfassung des Fachwissens verschlechtert haben (Abnahme der geschätzten Personenfähigkeit), liefert der grundsätzliche Lernerfolg der Lernenden hier bereits Hinweise auf die Wirksamkeit der Bearbeitung der oadL.

Zur Einordnung der Ergebnisse zum Lernerfolg ist sowohl eine Verzerrung der Ergebnisse durch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Testung des Fachwissens als auch durch die Berechnung des Lernerfolgs selbst zu berücksichtigen. Der durch die Differenz zwischen der Personenfähigkeiten von Prä- und Posttest berechnete Lernerfolg, wird aufgrund der Berechnungsmethode des Lernerfolgs etwas unterschätzt (insbesondere Lernenden mit hohem Vorwissen werden unterschätzt; vgl. Pentecost & Barbera, 2013). Zusätzlich ist der jeweilige Zeitpunkt der Testungen relevant für die Einschätzung des tatsächlichen Lernerfolgs. Während der Prätest vor der Bearbeitung der oadL gleich zu Beginn des Vorkurses stattgefunden hat, ist der Posttest am dritten Tag nach der 90-minütigen Bearbeitung der oadL und somit möglicherweise trotz 15-minütiger Pause (siehe Kapitel 4.3) unter Ermüdungseffekten durchgeführt worden. Nicht zuletzt ist es wesentlich zu beachten, dass durch das Ein-Gruppen-Prä-Post-Design der Untersuchung der Lernerfolg nicht ausschließlich auf die Bearbeitung der oadL zurückgeführt werden kann.

Im Rahmen der weiteren Auswertung der Dispositionen der Lernenden und deren Performanz ist der Lernerfolg eine wesentliche Komponente zur Einschätzung der Effektivität des SRL (vgl. Winters et al., 2008). So kann nicht nur eingeschätzt werden, inwiefern verschiedene dispositionelle Ausprägungen im Rahmen des SRL mit einem möglicherweise größeren Lernerfolg zusammenhängen (siehe Kapitel 6.1.3), sondern darüber hinaus auch inwiefern die Performanz der Lernenden mit dem Lernerfolg zusammenhängt (siehe Kapitel 6.3). Daher bieten sich im Zusammenhang mit dem Lernerfolg eine Reihe an weiterführenden Ansätzen der Untersuchung. Ein differenzierter inhaltlicher Abgleich des Lernerfolgs (z. B. bzgl. welcher Themen ein großer/mittlerer/kleiner/kein Lernerfolg erzielt wurde) mit den Inhalten und den Anforderungsniveaus der oadL sollte innerhalb von weiterführenden Arbeiten bspw. genutzt werden, um die Inhalte der oadL weiter an die Bedürfnisse der Lernenden anzupassen (z. B. könnten mögliche weitere Fehlvorstellungen gezielter mittels Instruktionstexte aufgelöst werden) und damit die Wirksamkeit der Bearbeitung der oadL weiter zu vergrößern. Die innerhalb der

Fachwissenstests und der oadL genutzten Learning Progressions (siehe Kapitel 4.1) sowie eingesetzte typische Vorstellungen und Fehlvorstellungen zur Mechanik (Schecker et al., 2018) könnten insbesondere für eine solche Auswertung genutzt werden. Um zudem den Lernerfolg auf die Bearbeitung der oadL zurückführen zu können, könnte das Studiendesign verändert und bspw. ein Teil der Lernenden einer möglichen Kontrollgruppe zugeordnet werden.

6.1.3 Zusammenhang zwischen Dispositionen sowie zwischen Dispositionen und Lernerfolg

Im Forschungsvorhaben wurden eine Reihe von unterschiedlichen Dispositionen der Lernenden sowohl zur detaillierten Beschreibung des Samples als auch zur detaillierteren und ganzheitlichen Untersuchung des SRL erfasst und deren Korrelation ermittelt (vgl. Tabelle 7). Um den Zusammenhang der dispositionellen Ausprägungen untereinander sowie ein Zusammenhang zwischen den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg zu untersuchen, wurden u. a. Korrelationsanalysen herangezogen (siehe Kapitel 5.3). So lassen sich innerhalb des Samples einige signifikante Zusammenhänge ($p < 0,050$) identifizieren wie bspw. zwischen dem Vorwissen und dem Interesse ($r = 0,333$), dem Vorwissen und der ALZO ($r = 0,351$) und dem Vorwissen und der AV ($r = -0,326$). Während die Zusammenhänge zwischen der SWK und der VLZO ($r = 0,387$), der LZO und dem Interesse ($r = 0,418$) sowie der VLZO und der ALZO ($r = 0,433$) jeweils sehr signifikant sind ($p < 0,01$), korrelieren sowohl SW und FSK ($r = 0,568$) als auch Vorwissen und Lernerfolg ($r = -0,634$) hoch signifikant ($p < 0,001$). In Bezug auf den Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg gilt dabei: Je kleiner das Vorwissen, desto größer der Lernerfolg. Mittels einfacher linearer Regression kann die dispositionelle Ausprägung des Vorwissens als signifikanter Prädiktor für den Lernerfolg ($F(1,41) = 27,593$, $p < 0,001$) spezifiziert werden. Ca. 40.2 % der Varianz im Lernerfolg kann durch das Vorwissen der Lernenden erklärt werden (siehe Tabelle 8). Je kleiner das Vorwissen, desto größer der Lernerfolg ($\beta = -0,645$; $t(41) = -5,253$; $p < 0,001$). Neben den bisher aufgeführten Zusammenhängen können mittels Korrelationsanalyse (siehe Tabelle 7), der Analyse von Streudiagrammen (für bspw. quadratische Zusammenhänge; siehe Anhang D) sowie durch eine explorative Untersuchung multipler linearer Regressionen (Methode der Rückwärtseliminierung; siehe Tabelle 9 und für einen detaillierteren Überblick siehe Anhang F) keine weiteren signifikanten Zusammenhänge zwischen den einzelnen Dispositionen der Lernenden und dem Lernerfolg festgestellt werden.

Tabelle 7*Korrelationen zwischen dispositionellen Ausprägungen sowie dem Lernerfolg*

		Dispositionelle Ausprägungen								
		Prä	SW	SWK	FSK	Int	LZO	ALZO	VLZO	AV
SW	<i>r</i>	-0,010								
	<i>p</i>	0,947								
	<i>n</i>	47								
SWK	<i>r</i>	0,100	-0,019							
	<i>p</i>	0,506	0,889							
	<i>n</i>	47	54							
FSK	<i>r</i>	0,176	0,568	-0,076						
	<i>p</i>	0,238	< 0,001	0,586						
	<i>n</i>	47	54	54						
Int	<i>r</i>	0,333	0,180	0,018	0,247					
	<i>p</i>	0,022	0,197	0,896	0,075					
	<i>n</i>	47	53	54	53					
LZO	<i>r</i>	0,235	0,275	-0,025	0,062	0,418				
	<i>p</i>	0,112	0,044	0,857	0,656	0,002				
	<i>n</i>	47	54	55	54	54				
ALZO	<i>r</i>	0,351	-0,094	0,233	0,190	0,022	0,071			
	<i>p</i>	0,016	0,500	0,090	0,168	0,878	0,612			
	<i>n</i>	47	54	54	54	53	54			
VLZO	<i>r</i>	0,055	-0,194	0,387	-0,226	-0,216	-0,032	0,433		
	<i>p</i>	0,711	0,159	0,003	0,100	0,117	0,817	0,001		
	<i>n</i>	47	54	55	54	54	55	54		
AV	<i>r</i>	-0,326	-0,127	0,081	0,045	-0,125	-0,231	0,261	0,284	
	<i>p</i>	0,025	0,359	0,557	0,747	0,367	0,089	0,057	0,036	
	<i>n</i>	47	54	55	54	54	55	54	55	
LE	<i>r</i>	-0,634	-0,148	-0,066	-0,143	-0,269	-0,041	-0,095	0,150	0,216
	<i>p</i>	< 0,001	0,348	0,673	0,360	0,081	0,795	0,545	0,337	0,165
	<i>n</i>	43	42	43	43	43	43	43	43	43

Anmerkung. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, SWK: Selbstwertkontingenz, FSK: Fähigkeits-selbstkonzept, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungsziel-orientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, LE: Lernerfolg. Für die Berechnung der Korrelation mittels des Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Variablen wurden zunächst Ausreißer bzgl. der jeweiligen dispositionellen Ausprägung, basierend auf einem festgelegten Cut-Off-Wert der z-standardisierten Variable, entfernt.

Tabelle 8*Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg (lineare Regression)*

Variable	B	β	SE
Konstante	0,528 ^{***}		
Vorwissen	-0,645 ^{***}	-0,634 ^{***}	0,123
R^2	0,402		
korr. R^2	0,388		
F (df = 41)	27,593 ^{**}		

Anmerkung. ^{*}: $p < 0,05$; ^{**}: $p < 0,01$; ^{***}: $p < 0,001$; $n = 43$

Tabelle 9

Multiple lineare Regressionen zwischen den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg

Modell	R	R^2	korr. R^2	Änderung in R^2	sig. Änderung in F
1 ^a	0,691	0,477	0,335	0,477	0,005
2 ^b	0,691	0,477	0,354	0,000	0,893
3 ^c	0,690	0,476	0,371	-0,001	0,773
4 ^d	0,688	0,473	0,385	-0,003	0,682
5 ^e	0,684	0,468	0,396	-0,005	0,560
6 ^f	0,679	0,461	0,404	-0,007	0,476
7 ^g	0,672	0,452	0,409	-0,009	0,427
8 ^h	0,633	0,439	0,411	-0,012	0,355
9 ⁱ	0,634	0,402	0,388	-0,037	0,112

Anmerkung. $n = 43$. Multiple lineare Regressionen durch Rückwärtseliminierung. VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, SW: Selbstwirksamkeit, LZO: Lernzielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, SWK: Selbstwertkontingenz, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, FSK: Fähigkeitsselbstkonzept.

^a Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, SW, LZO, AV, SWK, ALZO, Interesse, FSK. ^b Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, SW, LZO, AV, SWK, ALZO, FSK.

^c Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, SW, LZO, SWK, ALZO, FSK.

^d Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, SW, LZO, SWK, ALZO. ^e Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, LZO, SWK, ALZO. ^f Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, LZO, SWK.

^g Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO, LZO. ^h Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen, VLZO. ⁱ Einflussvariablen: (Konstante), Vorwissen.

Für ein ganzheitliches Bild des Zusammenhangs zwischen den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg werden die in Kapitel 6.1.1 gebildeten Gruppen „hoWi“ und „ewWi“ bezüglich deren dispositionellen Ausprägungen miteinander verglichen. Die dispositionellen Ausprägungen der Lernenden der Gruppe „hoWi“ und „ewWi“ unterscheiden sich mit einem mittleren Effekt signifikant (siehe Tabelle 10 und Abbildung 32) in der SW ($t(52) = 2,311; p = 0,025; d = 0,783$) und dem FSK ($t(52) = 2,083; p = 0,042; d = 0,688$). Der Mittelwertunterschied bezüglich der LZO fällt gerade so nicht unter die Signifikanzgrenze ($t(53) = 1,813; p = 0,075$).

Tabelle 10

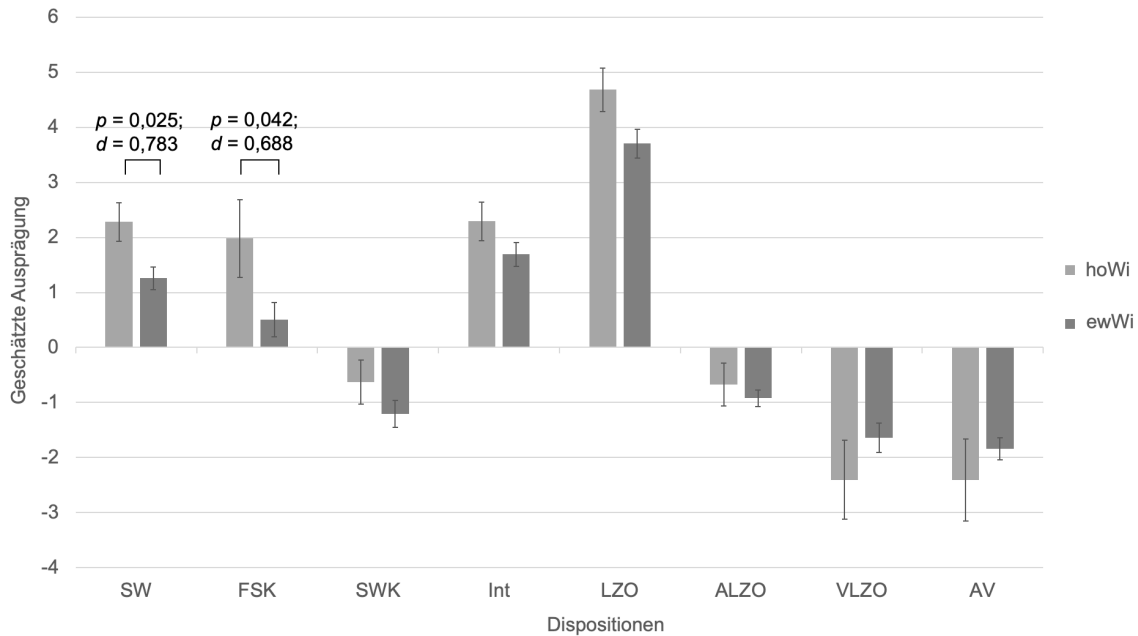
Vergleich dispositioneller Ausprägungen der Gruppe des hohen und des erwarteten Vorwissens/Wissens

Dispositionelle Ausprägung	Gruppen			
	„hoWi“ ($n = 12$)		„ewWi“ ($n = 43$)	
	MW	SD	MW	SD
Selbstwirksamkeit	2,28	1,16	1,26	1,35
Fähigkeitsselbstkonzept	1,98	2,35	0,50	2,03
Selbstwertkontingenz	-0,63	1,39	-1,26	1,61
Interesse	2,29	1,17	1,69	1,46
Lernzielorientierung	4,68	1,37	3,71	1,72
Annäherungsleistungszielorientierung	-0,67	1,29	-0,92	0,98
Vermeidungsleistungszielorientierung	-2,40	2,48	-1,64	1,77
Arbeitsvermeidung	-2,41	2,58	-1,84	1,33

Anmerkung. „hoWi“: Lernende mit hohem Vorwissen oder hohem Wissen nach der Bearbeitung der Lernumgebung, „ewWi“: alle weiteren Lernende des Samples, die nicht der Gruppe hoWi zugeordnet werden.

Abbildung 32

Vergleich dispositioneller Ausprägungen zwischen den Gruppen des hohen und des erwarteten Wissens



Anmerkung. „hoWi“: $n = 12$; „ewWi“: $n = 43$. SW: Selbstwirksamkeit, FSK: Fähigkeits-selbstkonzept, SWK: Selbstwertkontingenz, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung. Die geschätzte Ausprägung der Dispositionen basiert auf jeweils einer Rasch-Auswertung der Dispositionen. p beschreibt die Signifikanz des Mittelwertunterschieds zwischen den dispositionellen Ausprägungen der verschiedenen Gruppen, Cohens d die Effektstärke. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der einzelnen Mittelwerte dar.

Diskussion und weiterführende Fragen. Im Rahmen der Auswertung der dispositionellen Ausprägungen der Lernenden des Samples können eine Reihe von verschiedenen Zusammenhängen zwischen diesen Ausprägungen festgestellt werden. Während ein Großteil der signifikanten Zusammenhänge wie u. a. zwischen der LZO und dem Interesse ($r = 0,418$; $p = 0,002$), der VLZO und der ALZO ($r = 0,433$; $p = 0,001$), der SW und dem FSK ($r = 0,568$; $p < 0,001$) oder dem Vorwissen und dem Interesse ($r = 0,333$; $p = 0,022$) bisherigen Erkenntnissen entsprechen (vgl. Dweck & Leggett, 1988; Huang, 2011; Hulleman et al., 2010; Steinmayr et al., 2011), sind weitere zu erwartende Zusammenhänge im untersuchten Sample nicht zu finden. Ein auf Basis bisheriger Erkenntnisse zu erwartender positiver Zusammenhang zwischen der SW und dem Interesse (u. a. Buccheri et al., 2011; Renninger & Hidi, 2011), ein negativer Zusammenhang zwischen der AV und der LZO oder zwischen der ALZO und der LZO (vgl. Steinmayr et al., 2011) können hier

nicht identifiziert werden. Insbesondere die Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen/Wissen der Lernenden und der lernförderlichen Ausprägung von Dispositionen sind in der Literatur gut belegt (vgl. Hansford & Hattie, 1982; Huang, 2012; Möller et al., 2009; Pintrich & DeGroot, 2003; Zimmerman, 2000) und wären hier auch innerhalb der Gruppe „ewWi“ zu erwarten gewesen. Eine Betrachtung der beiden gebildeten Gruppen „hoWi“ und „ewWi“ deutet z. T. auf diese fehlenden Zusammenhänge auch im vorliegenden Sample hin. So haben Lernende der Gruppe „hoWi“ nicht nur ein größeres Vorwissen/Wissen, sondern insbesondere bezüglich des FSK und der SW (sowie in der Tendenz der LZO, der VLZO und der AV) lernförderliche Ausprägungen der Dispositionen wie ein hohes FSK, eine hohe SW, hohe LZO und niedrige AV.

Durch die Auswertung des Zusammenhangs zwischen den dispositionellen Ausprägungen und dem mit der Bearbeitung der oadL verbundenen Lernerfolg (FF1), zeigt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg. Der Lernerfolg der Lernenden (der Gruppe „ewWi“, deren Lernerfolg differenziert berechnet werden konnte) hängt hoch signifikant mit dem Vorwissen zusammen ($r = 0,634$; $p < 0,001$). Je kleiner das Vorwissen desto größer der Lernerfolg ($t(46) = -3,730$, $p < 0,001$; $d = 0,54$). Dabei können 40,2 % der Varianz im Lernerfolg durch das Vorwissen der Lernenden erklärt werden. Auch wenn darüber hinaus das Interesse der Lernenden tendenziell mit dem Lernerfolg zusammenhängt ($r = -0,269$; $p = 0,081$) löst dieser Zusammenhang insbesondere die Varianz im Lernerfolg nicht weiter auf (siehe multiple lineare Regression Tabelle 9). Zudem können keine weiteren signifikanten Zusammenhänge (auch keine nicht linearen Zusammenhänge; Prüfung der Streudiagramme; siehe Anhang D) zwischen dem Lernerfolg und den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden festgestellt werden.

In einer Reihe von bisherigen Arbeiten wird der Zusammenhang zwischen den dispositionellen Ausprägungen und der Leistung²⁸ der Lernenden in anschließenden Tests oder durch eine Annäherung über die Note von Abschlussarbeiten beschrieben. So werden u. a. ein hohes FSK (Hansford & Hattie, 1982; Mabe & West, 1982), eine hohe SW (zsf. Freng et al., 2015), ein hohes Interesse (Krapp, 1999; Hidi & Renninger, 2006), eine hohe LZO (zsf. Diseth, 2011) und eine geringe AV (Elliot & Harackiewicz, 1996; Spinath et al., 2002) als lernförderliche Dispositionen aufgefasst und mit guten Leistungen in Verbindung

²⁸ Der Begriff der „Leistung“ wird in der vorliegenden Arbeit explizit zur Abgrenzung zum „Lernerfolg“ genutzt. Während sich Leistung auf eine einmalige Erfassung des Wissens nach der Bearbeitung einer Lernumgebung bezieht (bspw. Abschlusstest, Abschlussnote), bezieht sich der Lernerfolg auf die Änderung des Wissens vor und nach (Prä- und Posttest) der Bearbeitung einer Lernumgebung.

gebracht. Auch wenn diese Ergebnisse nur bedingt auf die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit übertragen werden können, geben sie dennoch einen Einblick über mögliche zu erwartende Zusammenhänge. Im Gegensatz zur Leistung wird der Lernerfolg als Änderung des Fachwissens zwischen einem Prä- und einem Posttest insbesondere im Rahmen der SRL-Forschung bisher kaum untersucht (vgl. Winters et al., 2008). In den wenigen Arbeiten, die sich mit dem Lernerfolg als Änderung des Fachwissens befassen (u. a. Moos & Azevedo, 2008a, 2008b), zeigen sich jedoch konträre Ergebnisse bzgl. des Zusammenhangs zwischen Vorwissen und Lernerfolg. So stellen bspw. Moos und Azevedo (2008a; 2008b) sowie Scheiter und Gerjets (2007) einen positiven Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg fest. Darüber hinaus berichten die Autorinnen und Autoren u. a. von signifikanten negativen Zusammenhängen zwischen der VLZO und dem Lernerfolg sowie positive Zusammenhänge zwischen der ALZO und dem Lernerfolg (zsf. Neroni et al., 2018), die in der vorliegenden Arbeit nicht zu finden sind.

Für die z. T. unterschiedlichen Ergebnisse bisheriger Arbeiten und den in der vorliegenden Arbeit berichteten Ergebnissen lassen sich verschiedene Gründe heranziehen. Neben der geringen Stichprobengröße kann die Homogenität des Samples (u. a. in Bezug auf die ausschließlich geringe AV oder das hohe Interesse der Lernenden) ein Grund für eine Reihe von nicht signifikanten, jedoch erwartbaren Zusammenhängen sein (vgl. Cohen, 1988; Field & Hole, 2003). Zudem können die unterschiedlichen Gestaltungen der verschiedenen Untersuchungen zu Grunde liegenden Lernumgebungen mit den Korrelationen zwischen den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg zusammenhängen. Während den festgestellten Zusammenhängen zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg von Moos und Azevedo (2008a; 2008b) eine informationsbasierte Lernumgebung zu Grunde liegt, wird der in der vorliegenden Arbeit beschriebene Zusammenhang (zwischen Vorwissen und Lernerfolg) in Verbindung mit der Bearbeitung einer oadL festgestellt. Auch die von Neroni et al. (2018) zusammengefassten Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen den dispositionellen Ausprägungen Lernender und deren Lernerfolg basieren auf linearen oder informationsbasierten Lernumgebungen. Die Verschiedenheit der Zusammenhänge je nach den den jeweiligen Untersuchungen zu Grunde liegenden Lernumgebungen unterstützt damit die bereits in Kapitel 2 und 3 beschriebene Notwendigkeit der Untersuchung des SRL innerhalb einer oadL.

Einen weiteren Erklärungsansatz für die Verschiedenheit der Ergebnisse bietet ein möglicher *Deckeneffekt* bezüglich der Inhalte und Anforderungsniveaus der oadL. Obwohl die Lernenden der Gruppe „hoWi“ aus den Analysen bzgl. des Lernerfolgs bereits ausgeschlossen wurden, ist das Vorwissen der Lernenden der Gruppe „ewWi“ im Vergleich zu den Itemschwierigkeiten der konzipierten Fachwissenstests (Prä- und Posttest) auf einem hohen Niveau (siehe Abbildung 30). Es wäre daher möglich, dass Lernende mit niedrigem Vorwissen effektiver im Zusammenhang mit der Bearbeitung der oadL lernen können, da die Inhalte und Anforderungsniveaus der oadL besser zu ihnen passen.

Zur weiteren Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden und dem mit der Bearbeitung der oadL zusammenhängenden Lernerfolg, ist primär eine Vergrößerung des Samples und damit eine Auflösung der Homogenität bzgl. verschiedener dispositioneller Ausprägungen im Sample notwendig. Eine Auswertung der Performanz (siehe Kapitel 6.2) sowie ein Abgleich der Inhalte und Anforderungsniveaus der Fachwissenstests mit den Inhalten und Anforderungsniveaus der oadL kann nicht nur zur Untersuchung eines möglichen Deckeneffektes beitragen, sondern darüber hinaus Hinweise für eine Weiterentwicklung der oadL liefern. Gerade die hier eingesetzten Learning Progressions (vgl. Alonzo & Steedle, 2009; Just & von Aufschnaiter, 2020; Just et al., 2023) sowie die in der oadL thematisierten typischen Vorstellungen (Schecker et al., 2018) können hierfür genutzt werden.

6.2 Performanz

Im folgenden Unterkapitel wird der Fokus der Auswertung auf die Facette der Performanz der Lernenden, d. h. auf deren Bearbeitungsprozesse, gelegt. Die hier folgende explorative Auswertung basiert auf der in Kapitel 2 dargelegten Unterteilung des SRL in verschiedene Ebenen (Makro- Meso- und Mikroebene) und der in Kapitel 3 hergeleiteten Forschungsfrage 2 (FF2).

6.2.1 Allgemeine Bearbeitung der Lernumgebung (Makro- und Mesoebene)

Für einen Einblick in die Bearbeitungsprozesse der Lernenden wird zunächst die allgemeine Bearbeitung auf Makro- und Mesoebene betrachtet. Im Fokus stehen dabei die Prozessmerkmale der *insgesamten Dauer der Bearbeitung* (inklusive möglicher Heimarbeit), der *Linearität der Bearbeitung* der oadL und die von den Lernenden bei der Bearbeitung *gewählten Themenblöcke*.

Die Lernenden verbringen innerhalb des 180-minütigen Zeitfensters im Vorkurs sowie während des Distanztages (vgl. Kapitel 4.3) im Mittel 157,0 Minuten ($SD = 39,8$ Minuten; Maximum = 331,0 Minuten; Minimum = 63,3 Minuten) in der oadL. Dabei führen sie im Mittel 123 Klicks aus ($SD = 51$ Klicks; Maximum = 289 Klicks, Minimum = 31 Klicks), das entspricht einer Zeit von im Mittel 1,4 Minuten *pro Seitenaufruf*²⁹ (entspricht 84,0 pro Seitenaufruf; $SD = 51,6$ Sekunden pro Seitenaufruf). Zusätzlich zu den Präsenzveranstaltungen des Vorkurses arbeiteten sieben Lernende (siehe Tabelle 11) aus dem Sample ($N = 55$) zusätzlich am Distanztag in der oadL.³⁰ Diese Lernende werden in folgenden Auswertungen in der Gruppe „Bearbeitung +“ (kurz: „B+“) zusammengefasst, während alle anderen Lernenden in der Gruppe „Bearbeitung“ (kurz „B“) zusammengefasst werden.

Innerhalb der von den Lernenden mit der Bearbeitung der oadL verbrachten Zeit, werden unterschiedliche Themenblöcke der oadL in unterschiedlichem Ausmaß aufgesucht. Während bspw. der Themenblock „Grundgrößen der Kraft“ (bestehend aus vier Themen; siehe Tabelle 3) im Mittel zu 37,34 % ($SD = 17,80$ %) der innerhalb der oadL verbrachten Gesamtzeit eines/einer jeden Lernenden bearbeitet wird, wird in anderen Themenblöcken weniger Zeit verbracht. So bearbeiten die Lernenden den Themenblock „Kraft und Rotation“ trotz des großen Umfangs mit insgesamt sechs Themen innerhalb dieses Themenblocks in 13,38 % ($SD = 19,89$ %) ihrer Gesamtzeit. Die hohen Standardabweichungen deutet dabei auf große interindividuelle Unterschiede zwischen den Lernenden hin.

In Anbetracht der Wissensbereiche (Grundwissen und erweitertes Wissen) zeigt sich, dass die Lernenden deutlich mehr Zeit innerhalb des Grundwissens verbringen. Im Mittel verbleiben die Lernenden 94,45 % ($SD = 8,20$ %) der Gesamtzeit im Grundwissen.³¹ Ein Überblick über den Umfang jedes Themenblocks sowie die von den Lernenden anteilig

²⁹ Die durchschnittliche Zeit pro Seitenaufruf beschreibt die Verweildauer der Lernenden auf einer von ihnen aufgerufenen Seite, ehe sie eine andere Seite aufrufen, d. h. der Differenz der Zeitpunkte zwischen dem Aufruf einer Seite und dem Aufruf einer anderen Seite. Diese wurde für alle Lernenden einzeln berechnet und dann gemittelt. Sie basiert nicht auf den hier gemittelten Werten bezüglich der Gesamtzeit und der Gesamtklicks.

³⁰ Zur Berechnung der Zeit der Bearbeitung in Heimarbeit wurde die Differenz zwischen erstem und letztem Klick in Zeitfenstern außerhalb des Vorkurses betrachtet. Fand innerhalb von $t = 30$ Minuten kein Klick mehr statt, so wurde die Zeit des letzten Klicks als Ende der Bearbeitung betrachtet. Die exakte Zeit der Bearbeitung in Heimarbeit kann daher nicht rekonstruiert werden, ist für die hier vorliegende Untersuchung jedoch auch nicht notwendig.

³¹ Werden die Mittelwerte getrennt nach den Gruppen „hoWi“ und „ewWi“ betrachtet, ergeben sich für die anteilig im Grundwissen verbrachte Zeit folgende Mittelwerte:

$MW_{hoWi} = 87,32$ %; $SD_{hoWi} = 10,09$ %; $MW_{ewWi} = 96,44$ %; $SD_{ewWi} = 6,42$ %.

an der Gesamtzeit innerhalb eines Themenblocks verbrachten Zeit, findet sich in Tabelle 12.

Tabelle 11

Dauer und Klicks während der Heimarbeit in der Gruppe „Bearbeitung+“

Code	Anzahl Klicks in Heimarbeit	Dauer der Heimarbeit
FR14AN	8	30 Minuten
KA16LY	25	1 Stunde 1 Minute
WE27KE	63	1 Stunde 50 Minuten
WE10EL	26	2 Stunden 11 Minuten
WI10ME	102	2 Stunden 52 Minuten
GÖ18AN	38	3 Stunden 13 Minuten
GI15AN	59	4 Stunden 18 Minuten

Anmerkung. Zur Berechnung der Zeit der Bearbeitung in Heimarbeit wurde die Differenz zwischen erstem und letztem Klick der Lernenden außerhalb der Zeitfenster des Vorkurses betrachtet. Fand innerhalb von $t = 30$ Minuten kein Klick mehr statt, so wurde die Zeit des letzten Klicks als Ende der Bearbeitung betrachtet. Die exakte Zeit der Bearbeitung in Heimarbeit kann daher nicht rekonstruiert werden.

Tabelle 12

Umfang der Themenblöcke und deren relative Anteile der Bearbeitung

Themenblock	Anzahl Themen	Relativer Anteil der Bearbeitung	
		MW	SD
1. Grundgrößen der Kraft	4 (4 GW + 0 EW)	37,34 %	17,80 %
2. Mehrkraftsysteme	7 (5 GW + 2 EW)	25,08 %	14,17 %
3. Besondere Kräfte	6 (4 GW + 2EW)	14,06 %	11,47 %
4. Kraft und Translation	1 (1 GW + 0EW)	5,68 %	7,36 %
5. Kraft und Rotation	6 (4GW + 2EW)	13,38 %	19,89 %
6. Reibungskräfte	4 (4 GW + 2EW)	4,46 %	7,91 %

Anmerkung. GW: Anzahl der Themen im Grundwissen, EW: Anzahl der Themen im erweiterten Wissen. Die Beschriftungsreihenfolge der Themenblöcke 1–6 ergibt sich aus der mittels Crawler identifizierten Reihenfolge der Gestaltung der Lernumgebung. Zwischen den Themenblöcken konnte frei navigiert werden, die Nummerierungen werden innerhalb der Lernumgebung nicht abgebildet.

Diskussion und weiterführende Fragen. Im Durchschnitt bearbeiten die Lernenden innerhalb des 180-minütigen Zeitfensters während des Präsenzvorkurses sowie innerhalb des Distanztages (siehe Kapitel 4.3) die oadL mit 157,0 Minuten ($SD = 39,8$ Minuten). Da in den Mittelwert bereits die zusätzliche Bearbeitungszeit der Lernenden der Gruppe „B+“ einfließt, kann festgehalten werden, dass eine große Anzahl Lernender die zur Verfügung gestellte Lernzeit innerhalb der Präsenzphasen nicht optimal nutzt. Eine Betrachtung der Verteilung der Bearbeitungszeit der Lernenden innerhalb der oadL über die verschiedenen Themenblöcke und Wissensbereiche (Grundwissen und erweitertes Wissen) gibt zudem einen Eindruck in die Bearbeitungsprozesse der Lernenden auf Mesoebene (u. a. Wahl von Inhalten). Die Lernenden verbringen in Themen des Grundwissens im Mittel 94,45 % ($SD = 8,20$ %) der Gesamtzeit, in Themen des erweiterten Wissens 5,56 % ($SD = 8,20$ %) der Gesamtzeit. Es wird also in einem höheren Maß das Grundwissen bearbeitet als es das relative Verhältnis des Umfangs der Wissensbereiche (Grundwissen umfasst 22 Themen, erweitertes Wissen 6 Themen) nahelegt. Gleiche Erkenntnisse lassen sich zum relativen zeitlichen Anteil der Bearbeitung von verschiedenen Themenblöcken gewinnen. Während die Lernenden den Themenblock „Grundgrößen der Kraft“ in hohen zeitlichen Anteilen ihrer individuellen Lernzeit bearbeiten, bringen sie für umfassendere Themenblöcke (z. B. „Mehrkraftsysteme“ oder „Besondere Kräfte“) vergleichsweise weniger Zeit auf.

Die hier beschriebenen Befunde sind insbesondere in Bezug zur Diskussion der Erkenntnisse zum Lernerfolg wesentlich. Der Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg der Lernenden der Gruppe „ewWi“ (je kleiner das Vorwissen der Lernenden, desto größer deren Lernerfolg) legt u. a. einen möglichen Deckeneffekt der Inhalte und Anforderungsniveaus der oadL nah (siehe Kapitel 6.1.3). Durch die Auflösung der Lernzeitverteilung über die Wissensbereiche (Grundwissen, erweitertes Wissen) zeigt sich jedoch, dass die Lernenden anteilig an ihrer Gesamtbearbeitungszeit weniger Zeit im erweiterten Wissen als im Grundwissen verbringen. Gerade Themen des erweiterten Wissens umfassen jedoch Inhalte auf einem höheren Anforderungsniveau (z. B. werden Kräfte statt ein- oder zweidimensional im dreidimensionalen Raum betrachtet). Der als mögliche Erklärung des Zusammenhangs zwischen Vorwissen und Lernerfolg betrachtete Deckeneffekt scheint daher nicht den Zusammenhang zu erklären. Vielmehr wäre im Rahmen der Effektivität des SRL die von den Lernenden getroffene Wahl von Inhalten und Anforderungsniveaus zu diskutieren (genauer wird dieser Sachverhalt in Kapitel 6.3 beschrieben und diskutiert).

Das Lernende ihre Lernzeit in Verbindung mit der Bearbeitung einer digitalen Lernumgebung häufig nicht optimal nutzen, konnte bereits in einer Reihe an bisherigen Arbeiten nachgewiesen werden. So stellen u. a. Gravill und Compeau (2008) hohe *Off-Task-Zeiten* in Verbindung mit dem SRL fest. Auch die hohen Drop-Out-Quoten aus digitalen Lernumgebungen außerhalb von moderierten Arbeitsfenstern unterstützen diese Befunde (vgl. Banerjee & Duflo, 2014; Brent et al., 2016; Koedinger et al., 2015). Obwohl sich die Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit mit der Literatur decken, wirft die Off-Task-Aktivität der Lernenden in Verbindung mit dem SRL eine Reihe von weiteren Fragen auf. Insbesondere könnten eine Spezifizierung der Art der Off-Task-Aktivität, des Auslösers einer Off-Task-Aktivität und der Grund der Rückkehr zur weiteren Bearbeitung der Lernumgebung nach einer Off-Task-Phase eine Reihe wichtiger Erkenntnisse zum SRL liefern. Durch ein detailliertes Monitoring des Verhaltens der Lernenden (z. B. über Videoaufzeichnungen der Lernenden bei der Bearbeitung der oadL) könnten in Verbindung mit den bereits erfassten dispositionellen Ausprägungen und der Bearbeitungsprozesse innerhalb der oadL (z. B. Navigationsverhalten, Testergebnisse, Aufgabenlösungen) Erkenntnisse zur Initiierung und zum Abbruch der Bearbeitung gewonnen werden. Entsprechende Erkenntnisse könnten auch Hinweise für Off-Task-Aktivitäten im Fernstudium oder in Flipped-Classroom-Konfigurationen (vgl. Finkenberg & Trefzger, 2019; Volk, 2023) liefern. Über die Aspekte des Abbruchs und der Initiierung der Bearbeitung hinaus, ist die Off-Task-Aktivität auch im Kontext der Meso- oder Mikroebene zur Einschätzung des SRL wesentlich. So ist es bspw. möglich, dass eine Off-Task-Aktivität in bestimmter Länge bei einer von den Lernenden realisierten Abnahme ihrer Konzentration eine geeignete Strategie für eine insgesamt effektive Bearbeitung der Lernumgebung darstellt.

6.2.2 Linearität der Bearbeitung der Lernumgebung (Makroebene)

Um die Bearbeitungsprozesse der Lernenden zu rekonstruieren, wurden die Logfiles kumuliert über alle Lernenden mit Hilfe eines Process Miners ausgewertet (vgl. Kapitel 5.2.2). Besonderer Fokus wurde dabei zunächst auf die Linearität der Bearbeitung gelegt. Die Linearität der Bearbeitung bezieht sich hier auf die Navigationsreihenfolge der Lernenden zwischen den verschiedenen Themenblöcken, Themen und Seiten der oadL. Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben, wurden die einzelnen Seiten der oadL durch einen Crawler indiziert. Durch eine solche Analyse ergab sich somit trotz der offenen Gestaltung der oadL eine eindeutige Reihenfolge aller Themenblöcke, Themen und Seiten. Entspricht die Navigationsreihenfolge der Lernenden der durch den Crawler identifizierten Reihenfolge der Themenblöcke, Themen und Seiten der oadL, so wird von einer *linearen Bearbeitung*

gesprochen. Einen Überblick über die durch den Crawler identifizierte Reihenfolge der Themenblöcke und Themen der oadL gibt Tabelle 3.

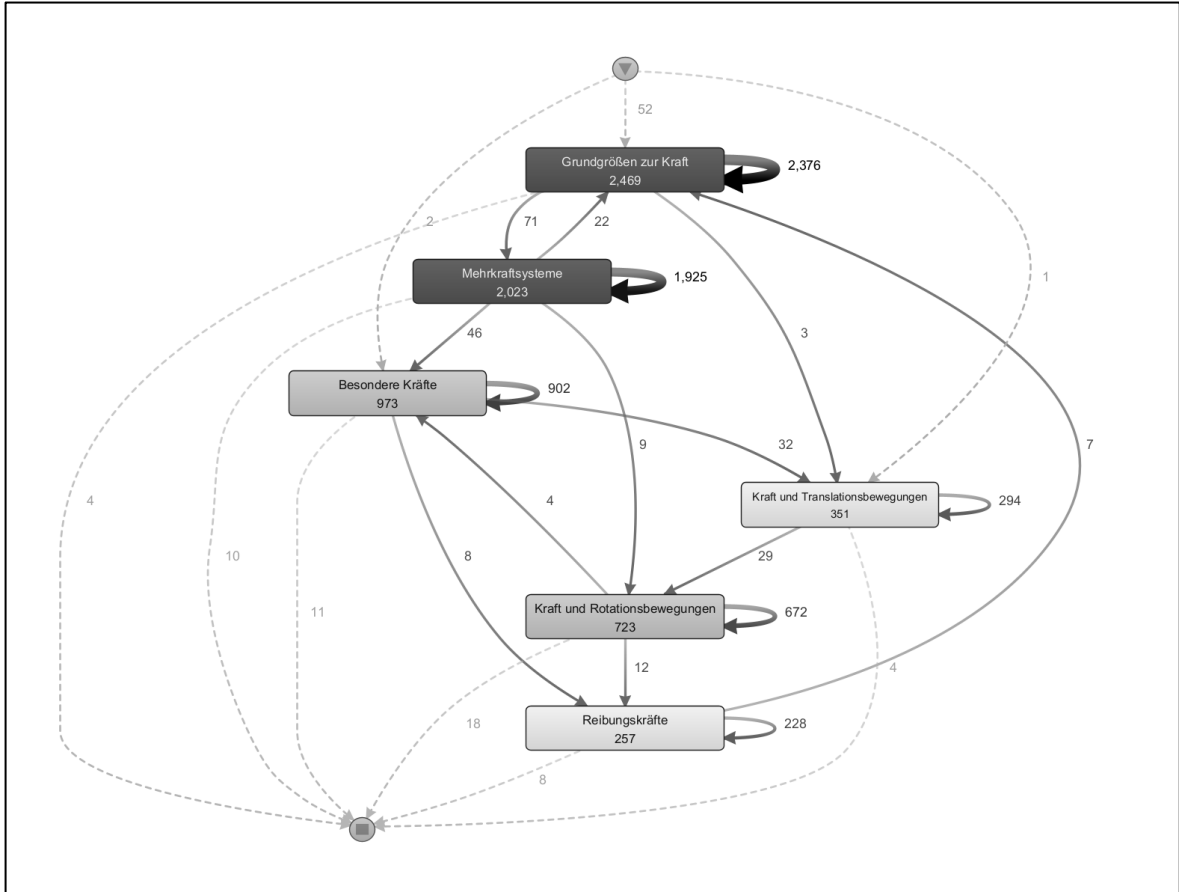
Um die Navigationsprozesse der Lernenden bezüglich der Linearität der Bearbeitung zu rekonstruieren, wird in einem ersten Schritt die Navigation zwischen den einzelnen Themenblöcken der oadL betrachtet. Mit einer Detailschärfe über die verschiedenen Themenblöcke von 100 % und der Darstellung von einzelnen Pfaden von 97,5 % kann der über alle Lernenden zusammengefasste Bearbeitungsprozess übersichtlich abgebildet werden, ohne dass viele Pfade durch die Darstellung verloren gehen (siehe Abbildung 33). Die durch das Prozessdiagramm abgebildete Reihenfolge zeigt die von den Lernenden primär genutzte Reihenfolge der Bearbeitung der unterschiedlichen Themenblöcke der oadL. Der Start der Bearbeitung der oadL am ersten Präsenztage des Vorkurses wird durch den Kreis im oberen Teil des Diagramms abgebildet, das Beenden der Bearbeitung am letzten Tag des Vorkurses durch den Kreis im unteren Teil des Diagramms. Die Zahlen neben den Pfeilen zwischen den einzelnen Themenblöcken visualisieren die absoluten Übergänge zwischen verschiedenen Themenblöcken, die Zahlen neben den Pfeilen, die auf denselben Themenblock zeigen (aus dem sie entspringen), die Übergänge zwischen zwei Seiten, die demselben Themenblock zugeordnet sind. In Anbetracht der durch das Prozessdiagramm abgebildeten Reihenfolge der Bearbeitung der Themenblöcke, ist festzustellen, dass diese Reihenfolge der durch den Crawler identifizierten Reihenfolge der Themenblöcke der oadL entspricht.

Mit Hilfe von berechneten Prozessmerkmalen (siehe Kapitel 5.2.1) kann der Bearbeitungsprozess der Lernenden bezüglich der Linearität der Bearbeitung weiter aufgelöst werden. So lässt sich mit Hilfe der Prozessmerkmale zu Übergängen zwischen Themenblöcken feststellen, dass die Lernenden anteilig zu allen während der Bearbeitung vollzogenen Themenblockwechsel im Mittel mit 60,49 % ($SD = 29,96$ %) in den (durch den Crawler indizierten) folgenden Themenblock navigieren. Im Mittel finden 24,30 % ($SD = 16,30$ %) der Wechsel in den vorherigen Themenblock und im Mittel 13,40 % ($SD = 18,93$ %) der Themenblockwechsel in weder den nächsten noch in den vorherigen Themenblock statt (siehe Abbildung 34).³²

³² Alle weiteren Wechsel finden in einen „gesonderten Themenblock“ statt, welcher u. a. die Notizseiten der oadL beinhaltet und in der vorliegenden Arbeit nicht mit ausgewertet wurde.

Abbildung 33

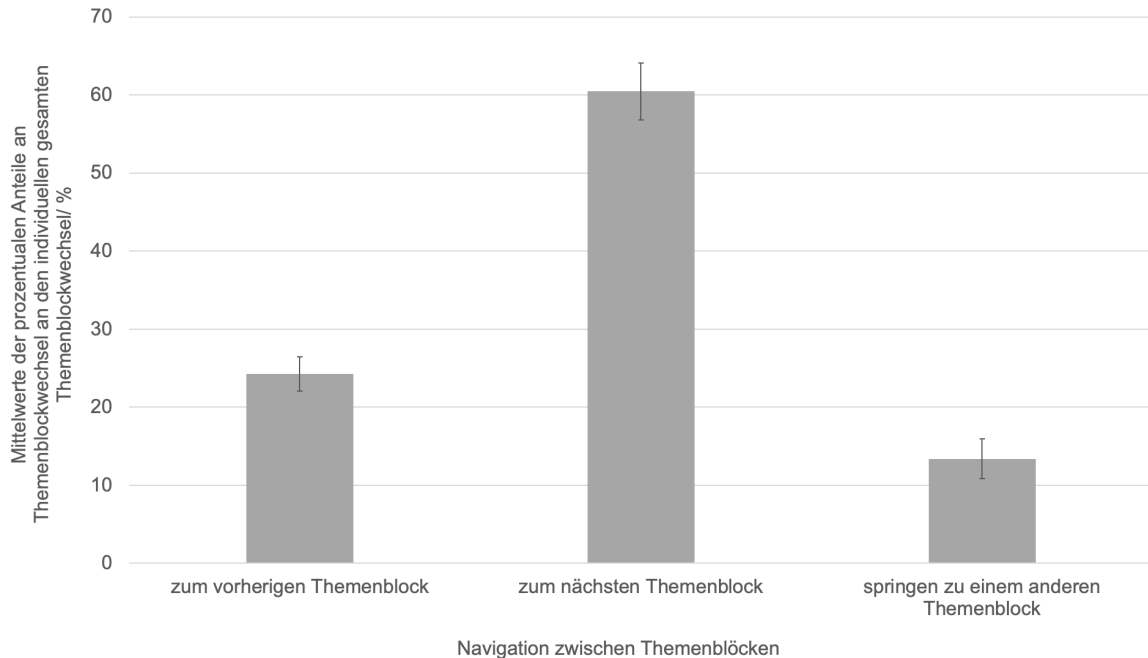
Prozessdiagramm zu Übergängen zwischen verschiedenen Themenblöcken der Lernumgebung



Anmerkung. Die Detailschärfe bezüglich der Themenblöcke liegt bei 100 %, die Detailschärfe bezüglich der Übergänge bei 97,5 %. Das Prozessdiagramm basiert auf den mittels Logfiles erfassten Bearbeitungsprozessen von $N = 55$ Lernenden. Die Nummerierung der Themenblöcke basiert auf der durch einen Crawler indizierte Reihenfolge der Themenblöcke der Lernumgebung. Den Lernenden wurde diese Reihenfolge nicht vorgegeben, sie konnten frei durch die verschiedenen Themenblöcke navigieren. Die hier abgebildeten Nummerierungen werden nicht innerhalb der Lernumgebung abgebildet.

Abbildung 34

Relative Anteile der linearen Navigation zwischen verschiedenen Themenblöcken der Lernumgebung

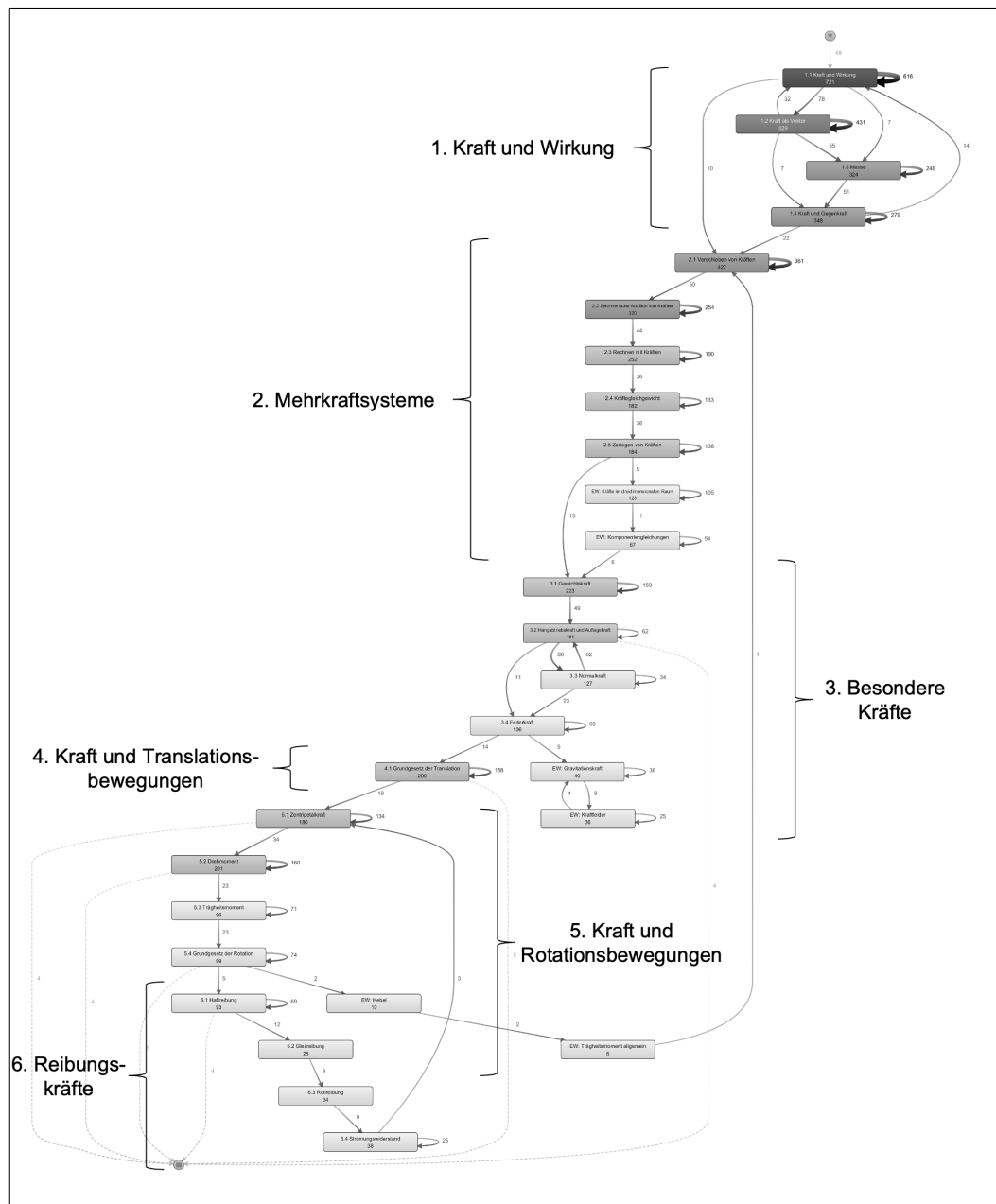


Anmerkung. $N = 55$ Lernende. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der einzelnen Mittelwerte dar.

In einem weiteren Schritt wurden die einzelnen Themenblöcke aufgelöst und die darin enthaltenen Themen betrachtet (siehe Abbildung 35). Zur Rekonstruktion der Bearbeitungsprozesse werden hier die Themen mit einer Detailschärfe von 100 % und einer Detailschärfe über die einzelnen Pfade von 25 % dargestellt. Analog zum Prozessdiagramm bezüglich der Navigation über die einzelnen Themenblöcke (siehe Abbildung 33), zeigt sich innerhalb des Prozessdiagramms zu den einzelnen Themen (siehe Abbildung 35), dass die von den Lernenden primär genutzte Reihenfolge der Bearbeitung verschiedener Themen, der Reihenfolge der Themen innerhalb der oadL entspricht (die Themen werden durch das Prozessdiagramm in Abbildung 35 in exakt der gleichen Reihenfolge wie in Tabelle 3 und damit der durch den Crawler identifizierten Reihenfolge der oadL abgebildet).

Abbildung 35

Prozessdiagramm zu Übergängen zwischen verschiedenen Themen der Lernumgebung



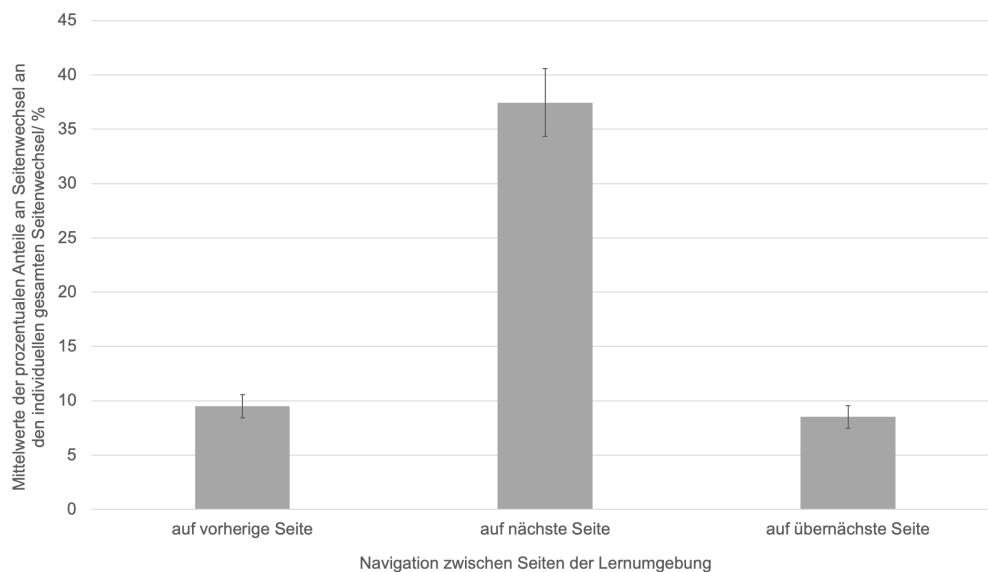
Anmerkung. Die Klammern und die Beschriftung der einzelnen Themenblöcke wurden hier nachträglich in das Prozessdiagramm eingefügt, um die Linearität der Bearbeitung zu verdeutlichen. Die Detailschärfe bezüglich der Themenblöcke liegt bei 100 %, die Detailschärfe bezüglich der Übergänge bei 97,5 %. Das Prozessdiagramm basiert auf den mittels Logfiles erfassten Bearbeitungsprozessen von $N=55$ Lernenden. Die Nummerierung der Themen basiert auf der durch einen Crawler identifizierten Reihenfolge der einzelnen Themen innerhalb der Lernumgebung. Den Lernenden wurde diese Reihenfolge nicht vorgegeben, sie konnten frei durch die verschiedenen Themen navigieren. Die hier abgebildeten Nummerierungen werden nicht innerhalb der Lernumgebung abgebildet.

Mit Hilfe von berechneten Prozessmerkmale bezüglich der Übergänge zwischen verschiedenen Themen kann dieser Zusammenhang quantifiziert werden. Im Mittel navigieren die Lernenden zu 48,07 % ($SD = 16,72$ %) in das folgende Thema. Zu 24,50 % ($SD = 10,38$ %) navigieren die Lernenden in das vorherige Thema, zu 27,44 % ($SD = 11,50$ %) in ein Thema, welches weder dem vorherigen noch dem nächsten Thema entspricht.

Unabhängig sowohl von Themenblöcken als auch von Themen kann die Navigation der Lernenden auch zwischen verschiedenen Seiten der oadL betrachtet werden. Durch die durch den Crawler identifizierte Reihenfolge der Seiten der oadL (trotz deren offenen Gestaltung) können Prozessmerkmale auch zu Übergängen zwischen verschiedenen Seiten der oadL berechnet werden. So folgt bspw. auf ein Beispiel innerhalb eines Themas ein weiteres Beispiel zum gleichen Thema. Auf das vierte Beispiel eines Themas folgt dann eine Kurzaufgabe zum gleichen Thema, auf welche eine weitere Kurzaufgabe folgt (siehe Anhang Abbildung A8). Im Mittel navigieren die Lernenden anteilig an allen ihren Seitenwechseln zu 37,45 % ($SD = 17,78$ %) auf die folgende Seite innerhalb der oadL. Zu im Mittel 45,96 % ($SD = 18,42$ %) wechselten die Lernenden auf die folgende oder die darauffolgende (nächste oder übernächste) Seite der oadL (siehe Abbildung 36).

Abbildung 36

Relative Anteile der linearen Navigation zwischen verschiedenen Seiten der Lernumgebung

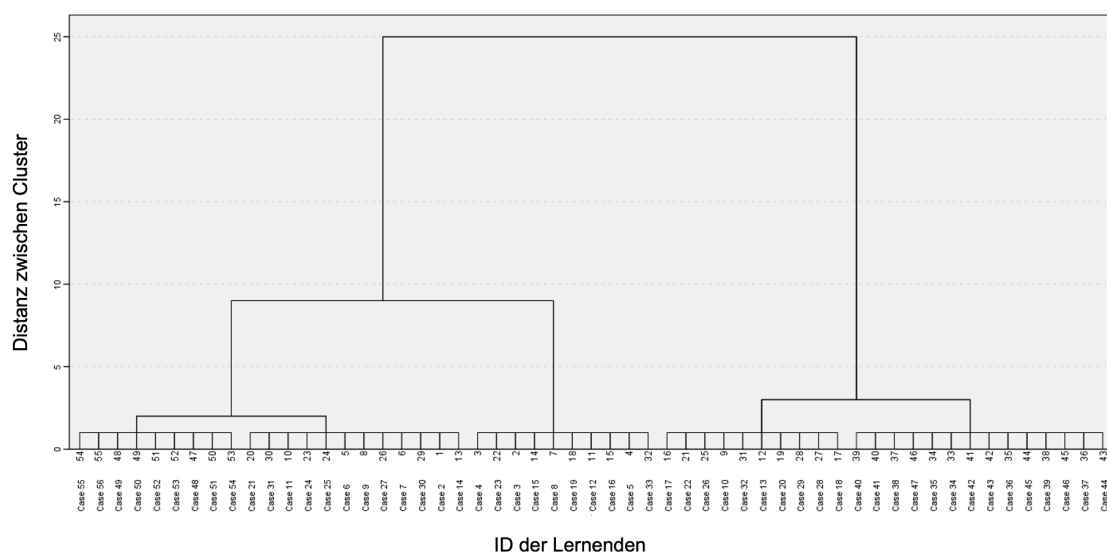


Anmerkung. $N = 55$ Lernende. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der einzelnen Mittelwerte dar.

Basierend auf dem Prozessmerkmal der Seitenwechsel wurde aufgrund der z. T. hohen Standardabweichungen von bis zu 19 % (und damit interindividuellen Unterschieden zwischen den Lernenden) mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse explorativ nach unterschiedlichen Gruppen von Lernenden in Bezug zur Linearität der Bearbeitung gesucht. Mittels eingesetzter Ward-Methode und der quadrierten euklidischen Distanz als Abstandsmaß (siehe Kapitel 5.3) konnte ein Dendrogramm zur Einschätzung der Distanz zwischen verschiedenen Clusterlösungen erstellt werden (siehe Abbildung 37). Während auf der Abzissenachse die einzelnen Lernenden abgebildet werden, wird auf der Ordinatenachse die Distanz zwischen den verschiedenen Gruppen abgebildet. Je größer die Distanz zwischen den Gruppen, desto verschiedener sind diese.

Abbildung 37

Dendrogramm zur Klassifizierung der Lernenden basierend auf der Linearität der Bearbeitung



Anmerkung. $N = 55$ Lernende. Die auf der Ordinatenachse abgebildeten Distanzen repräsentieren die Abstände / die Verschiedenheit zwischen Gruppen, ohne eine direkt quantifizierbare Einheit zu haben.

Zur Bildung von möglichst homogenen Gruppen wurde hier eine Auflösung mittels fünf Gruppen gewählt. Um einen ersten Einblick in die Unterschiede bezüglich der Linearität der Bearbeitung zu erhalten, wurden aus den fünf gebildeten Gruppen die beiden Extremgruppen für weitere Untersuchungen genutzt. Eine dieser Extremgruppen setzt sich aus den zehn Lernenden zusammen, deren Anteil der linearen Navigation 65,60 %

($SD = 6,36\%$) an den Gesamtnavigationen beträgt. D. h. in der überwiegenden Mehrzahl der Seitenaufrufe folgen diese Lernenden der Reihenfolge der oadL. Diese Gruppe wird im Weiteren die Gruppe der „eher linearen Bearbeitung“ (kurz: „elB“) genannt. Die zweite Extremgruppe umfasst ebenfalls zehn Lernende, deren Anteil der linearen Navigation $13,24\%$ ($SD = 4,37\%$) an den Gesamtnavigationen beträgt. Diese Lernenden navigieren überwiegend nicht entlang der Reihenfolge der oadL und werden im Weiteren in der Gruppe der „weniger linearen Bearbeitung“ (kurz: „wlB“) zusammengefasst. Ein Vergleich der beiden Gruppen („elB“ und „wlB“) zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied mit großem Effekt zwischen den beiden Extremgruppen ($t(18) = 21,454; p < 0,001; d = 9,594$).

Diskussion und weiterführende Fragen. In Anbetracht der hier dargestellten Ergebnisse zur Navigation der Lernenden bzw. zu den anteilig von den Lernenden jeweils vorgenommenen Themenblockwechsel, Themenwechsel und Seitenwechsel und der durch den Crawler identifizierten Reihenfolge der einzelnen Themenblöcke, Themen und Seiten lässt sich feststellen, dass die Lernenden die offen gestaltete oadL primär linear bearbeiten. Während im Mittel $60,49\%$ ($SD = 29,96\%$) aller Themenblockwechsel in den folgenden Themenblock durchgeführt werden, werden im Mittel $48,07\%$ ($SD = 16,72\%$) in das folgende Thema durchgeführt. Zudem finden im Mittel $37,45\%$ ($SD = 17,78\%$) aller Seitenwechsel auf die folgende Seite der oadL statt. Die durch die Prozessmerkmale festgestellte Linearität der Bearbeitung der oadL wird zudem durch die mittels eines „Process Miners“ erzeugten Prozessdiagramme verdeutlicht. So bilden die basierend auf den kumulierten Bearbeitungsprozessen aller Lernenden erstellten Prozessdiagramme die mittels eines Crawlers identifizierte Struktur der oadL ab. Um die hier dargelegten Ergebnisse im Rahmen der FF2 interpretieren zu können, ist es wesentlich, einen Rückbezug zur Struktur der oadL zu ziehen und die Ergebnisse mit dieser zu verbinden. So ist es bspw. möglich, dass die Lernenden nach der Bearbeitung eines Themenblocks der Struktur der oadL weiter folgen und nach der Bearbeitung von Beispielen und Kurzaufgaben des letzten Themas des ersten Themenblocks mit den Übungen des ersten Themas des gleichen Themenblocks weiterarbeiten (siehe im Anhang Abbildung A20, A21, A22, A23). Obwohl sie sich exakt an die Struktur der oadL halten, würde das erste Thema nicht als dem letzten Thema des gleichen Themenblocks folgend betrachtet werden und in den folgenden Ergebnissen mit „springen zwischen Themen“ bzw. „Übergang zu einem Thema, welches weder dem vorherigen noch dem folgenden Thema entspricht“ gewertet. Die Linearität der Bearbeitung wird daher durch die hier vorliegenden Werte insbesondere

zu den Themenwechsel und den Seitenwechsel aufgrund der durch den Crawler indizierten *exakten Reihenfolge* aller Seiten der oadL deutlich unterschätzt. Daher ist zusammenfassend festzustellen, dass die Lernenden trotz der Möglichkeit einer offenen und zielgerichteten Navigation die oadL primär linear bearbeiten.

Basierend auf der Linearität der Bearbeitung der oadL können analog zu bisherigen Arbeiten (vgl. Cheng & Macredie, 2010; Moos & Azevedo, 2008a) verschiedene Gruppen von Lernenden gebildet werden. Während Lernende der Extremgruppe der „eIB“ die Inhalte der oadL mit bis zu 65,60 % ($SD = 6,36$ %) linear bearbeiten, bearbeiten die Lernenden der „wIB“ Inhalte zu im Mittel 13,24 % ($SD = 4,37$ %) linear. Insbesondere in Verbindung mit den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg sind diese Gruppen innerhalb der Auswertung des Zusammenhangs zwischen Dispositionen, Performanz und Lernerfolg von besonderer Relevanz und werden daher in Kapitel 6.3 erneut aufgegriffen.

Auch wenn bisher kaum offene Lernumgebungen im Rahmen der Untersuchung des SRL in den Blick genommen wurden, decken sich die Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit mit Erkenntnissen aus ähnlichen Arbeiten. Iske (2008) fasst bspw. zusammen, dass Lernende eher der linearen Struktur einer Lernumgebung folgen, anstatt frei zwischen Inhalten zu navigieren. Auch Chen & Macredie (2010), MacGregor (1999) oder Paans et al. (2020) stellen lineares Bearbeitungsverhalten von offenen Lernumgebungen fest. Obwohl eine eher lineare Navigation durch die oadL für keine gezielte Auswahl von Lerninhalten durch die Lernenden spricht, kann auch im linearen Vorgehen eine effektive SRL-Strategie liegen. U. a. sollten daher aufbauend auf den hier gewonnenen Erkenntnisse sowohl die zeitliche als auch die inhaltliche Komponente in die Betrachtung der Linearität der Bearbeitung aufgenommen werden. So ist es bspw. möglich, dass die Lernenden zwar linear durch die Lernumgebung navigieren, jedoch bestimmte Inhalte in der linearen Klickreihenfolge überspringen und andere Inhalte ausführlicher bearbeiten. Ein Vergleich zwischen den von den Lernenden länger bearbeiteten Themen mit deren Vorwissen kann hier Aufschluss über die Linearität der Bearbeitung und damit die gezielte (oder redundante) Auswahl von Lerninhalten geben.

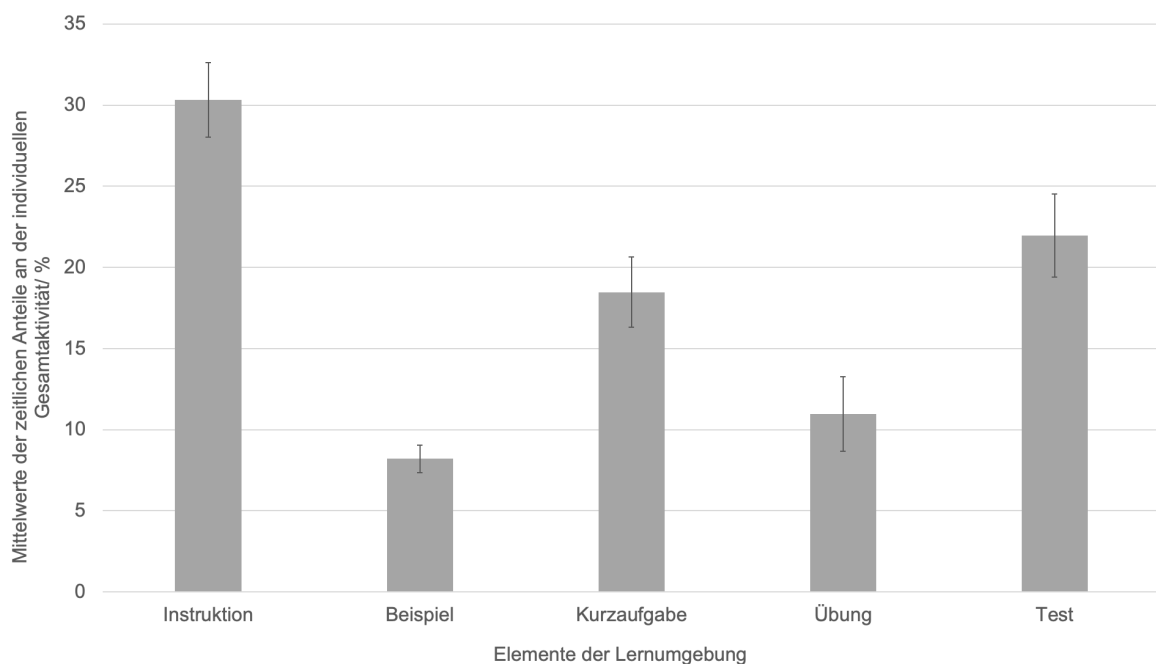
6.2.3 Bearbeitung einzelner Seiten der Lernumgebung (Meso- und Mikroebene)

Innerhalb der oadL haben die Lernenden die Möglichkeit Instruktionen und Beispiele zu lesen, innerhalb von Kurzaufgaben oder Übungen zu üben und mittels Tests ihr Wissen zu testen (siehe Kapitel 4.2). Mittels verschiedener berechneter Prozessmerkmale zur Beschreibung der Performanz der Lernenden (siehe Kapitel 5.2) kann die Zeit, die die Lernenden auf diesen Seiten verbringen anteilig an der Gesamtzeit eines/einer jeden

Lernenden innerhalb der oadL dargestellt werden (siehe Abbildung 38). Die Lernenden verbringen im Mittel 30,32 % ($SD = 16,99$ %) ihrer Zeit mit dem Lesen von Instruktionen und im Mittel 21,96 % ($SD = 18,90$ %) mit dem Testen. Darüber hinaus arbeiten die Lernenden im Mittel zu 18,48 % ($SD = 16,10$ %) ihrer Zeit in Kurzaufgaben und zu 10,96 % ($SD = 16,99$ %) in Übungen. In Beispiele verbringen die Lernenden anteilig an ihrer Gesamtzeit im Mittel 8,20 % ($SD = 6,36$ %).

Abbildung 38

Relative Anteile der Lernzeitverteilung in den einzelnen Elementen der Lernumgebung



Anmerkung. $N = 55$ Lernende. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der einzelnen Mittelwerte dar.

Im Weiteren werden die von den Lernenden aufgerufenen Seiten zu den Aktivitäten „Lesen“ (bestehend aus Instruktionen und Beispielen), „Üben“ (bestehend aus Kurzaufgaben und Übungsaufgaben) und „Testen“ (bestehend aus Tests) zur weiteren Analyse zusammengefasst. Innerhalb der oadL haben die Lernenden auf 133 Seiten die Möglichkeit zu lesen (Instruktionen³³ und Beispiele), auf 472 Seiten zu üben (Kurzaufgaben und Übungen) und auf 27 Seiten ihr Wissen zu testen (ein Test zu einem Themenblock besteht aus der doppelten Anzahl der Themen eines Themenblockes und vier Aufgaben zur Vernetzung dieser Themen; siehe Kapitel 4.2.1). Im Mittel verbringen die Lernenden

³³ Berücksichtigt werden muss hier, dass Instruktionseiten gleichzeitig auch als Übersichtsseiten für Beispiele und Kurzaufgaben fungieren (siehe Kapitel 4.2).

38,53 % ($SD = 20,72$ %) ihrer Zeit auf Seiten des Lesens, 29,44 % ($SD = 19,77$ %) auf Seiten des Übens und 21,96 % ($SD = 18,90$ %) auf Seiten des Testens. Um die Ergebnisse des zeitlichen Anteils der verschiedenen durchgeführten Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen) besser interpretieren zu können, wird zusätzlich neben den bisherigen Ergebnissen die durchschnittliche *Zeit pro Aktivität*³⁴ betrachtet. Während sowohl Instruktionen als auch Beispiele ausschließlich aus kurzen Texten bestehen, werden die Lernenden in Kurzaufgaben und Übungen aufgefordert, eine Aufgabenstellung selbstständig zu lösen. Tests setzen sich aus einer Reihe von Übungen zusammen (siehe Kapitel 4.2). Im Mittel verbringen die Lernenden pro Aufruf eines Tests mit 5,15 Minuten ($SD = 3,02$ Minuten) die längste Zeit auf einer Seite. Pro Aufruf einer Übung verbringen die Lernenden im Mittel 1,70 Minuten ($SD = 1,19$ Minuten) auf dieser Seite, pro Aufruf einer Kurzaufgabe 1,57 Minuten ($SD = 0,99$ Minuten), pro Aufruf einer Instruktion 1,27 Minuten ($SD = 0,71$ Minuten) und auf Seiten mit Beispiel im Mittel 44,64 Sekunden (entspricht 0,74 Minuten; $SD = 31,50$ Sekunden, entspricht 0,53 Minuten). Daraus ergibt sich eine mittlere Zeit von 1,16 Minuten ($SD = 0,64$ Minuten) pro Seitenaufruf einer Seite mit Inhalten zum Lesen, im Mittel 1,68 Minuten ($SD = 0,85$ Minuten) auf einer Seite mit Inhalten zum Üben und im Mittel 5,15 Minuten ($SD = 3,02$ Minuten) auf einer Seite zum Testen. Da die z. T. hohen Standardabweichungen bereits auf große interindividuelle Unterschiede hindeuten, wurde in einem weiteren Schritt nach verschiedenen *Aktivitätsgruppen* gesucht.

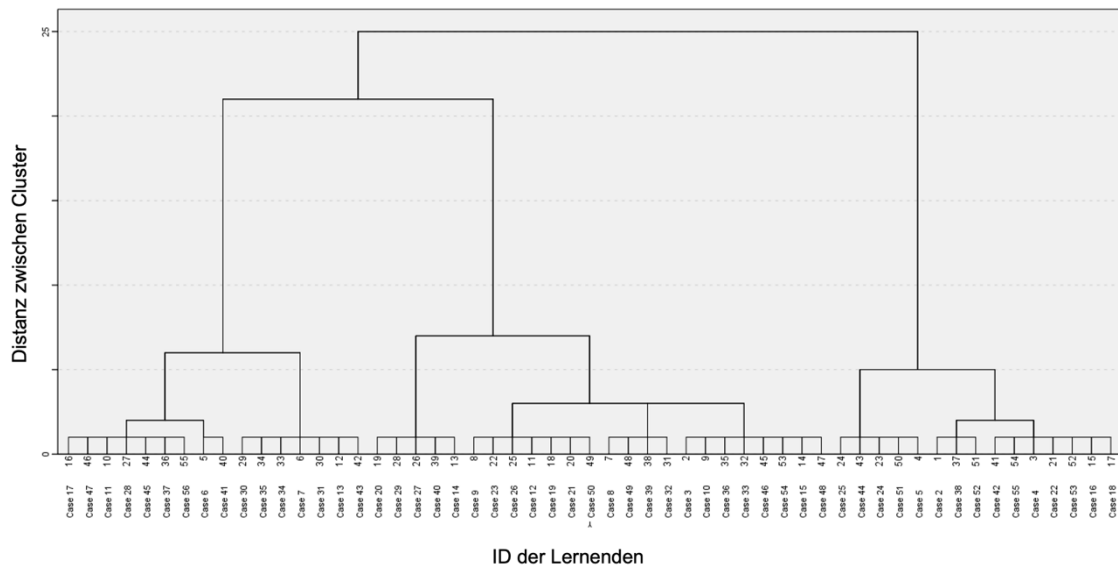
Mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse wurde im Rahmen von FF2 (siehe Kapitel 3) untersucht, inwiefern sich unterschiedliche Gruppen der Bearbeitung bezüglich der verschiedenen angebotenen Aktivitäten der oadL (lesen, üben, testen) identifizieren lassen. Basierend auf der Ward-Methode zur Bildung von homogenen Gruppen und der quadrierten euklidischen Distanz als Abstandsmaß (siehe Kapitel 5.3) ergibt sich das in Abbildung 39 dargestellte Dendrogramm. Während auf der Abzissenachse die einzelnen Lernenden abgebildet werden, wird auf der Ordinatenachse die Distanz zwischen den verschiedenen Gruppen abgebildet. Je größer die Distanz zwischen den Gruppen, desto verschiedener sind diese. Aufgrund des großen Abstandes zwischen der Lösung mit sechs Gruppen und der Lösung mit drei Gruppen, wird im Weiteren als Kompromiss zwischen möglichst homogenen Gruppen und einer möglichst geringen Anzahl an unterschiedlichen

³⁴ Mit Zeit pro Aktivität ist die durchschnittliche Verweildauer der Lernenden in einer Aktivität gemeint, ehe die Lernenden eine Seite zu einer anderen Aktivität aufrufen.

Gruppen die Lösung mit drei Gruppen zur weiteren Auswertung genutzt (siehe Abbildung 39).

Abbildung 39

Dendrogramm zur Klassifizierung der Lernenden basierend auf deren Aktivitäten in der Lernumgebung



Anmerkung. $N = 55$ Lernende. Die auf der Ordinatenachse abgebildeten Distanzen repräsentieren die Abstände / die Verschiedenheit zwischen Gruppen, ohne eine direkt quantifizierbare Einheit zu haben.

Die drei durch die Clusteranalyse gebildeten Gruppen unterscheiden sich in den relativen Anteilen des Lesens, Übens und Testens. Lernende der Gruppe 1 verbringen im Mittel mit 63,57 % ($SD = 16,36$ %) der Gesamtzeit innerhalb der oadL primär auf Seiten mit Inhalten zum Lesen und mit im Mittel 22,48 % ($SD = 14,35$ %) einen nennenswerten Anteil auf Übungsseiten. Gruppe 2 zeichnet sich mit im Mittel 45,73 % ($SD = 15,30$ %) ihrer Zeit auf Übungsseiten aus, während das Lesen und Testen jeweils ähnliche, aber deutlich geringere Zeitanteile einnehmen (siehe Tabelle 13). Der Schwerpunkt der zeitlichen Anteile der dritten Gruppe liegt zwar mit im Mittel 41,73 % ($SD = 14,33$ %) beim Testen, mit im Mittel 36,83 % ($SD = 13,73$ %) lesen die Lernenden der Gruppe jedoch nahezu in gleichen Anteilen zum Testen.

Tabelle 13

Mittelwerte der relativen Anteile der Lernzeitverteilung über die Aktivitäten im Gruppenvergleich

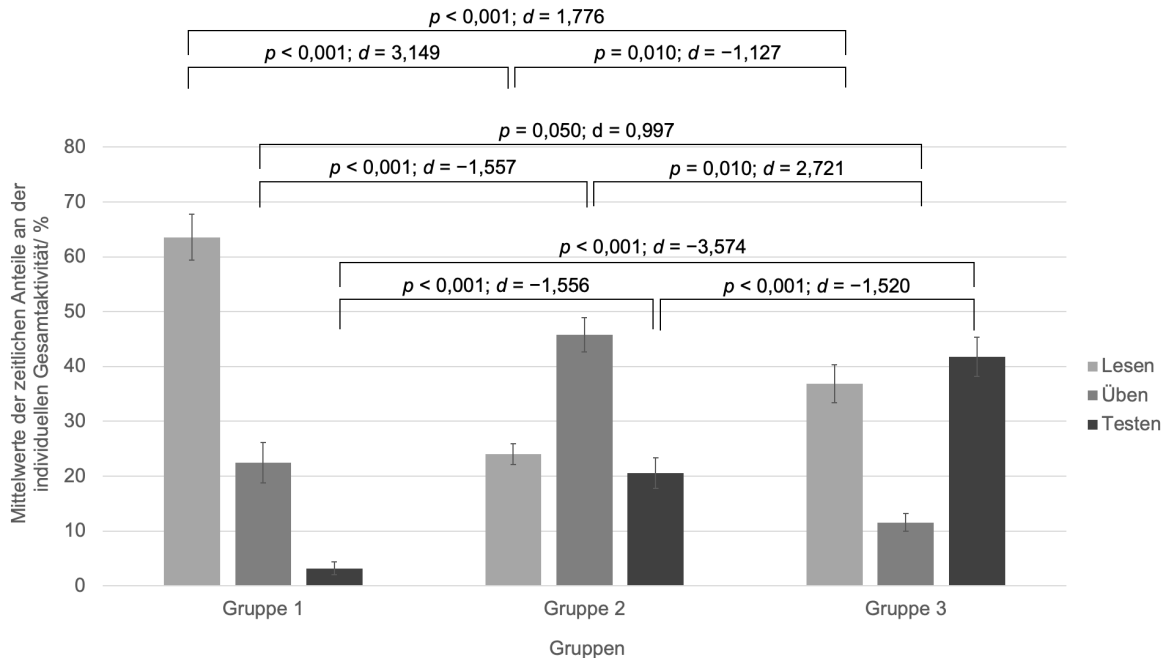
Aktivität	Gruppen					
	1 (n = 15)		2 (n = 24)		3 (n = 16)	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Lesen	63,57 %	16,36 %	24,02 %	9,54 %	36,83 %	13,73 %
Üben	22,48 %	14,35 %	45,73 %	15,30 %	11,53 %	6,42 %
Testen	3,16 %	4,61 %	20,53 %	13,69 %	41,73 %	14,33 %

Anmerkung. N = 55. Die Mittelwerte der relativen Anteile der Lernzeitverteilung wurden basierend auf der individuellen Lernzeitverteilung von der individuellen Gesamtzeit der Bearbeitung der oadL berechnet.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse bestätigt die Mittelwertunterschiede zwischen den gebildeten Gruppen bzgl. der verschiedenen Aktivitäten (siehe Abbildung 40). So unterscheiden sich die Mittelwerte des relativen Anteils der Zeit auf Testseiten über alle drei Gruppen hoch signifikant mit großem Effekt ($p < 0,001$; siehe Abbildung 40). Zudem unterscheidet sich der mittlere prozentuale zeitliche Anteil des Übens zwischen Gruppe 1 und 2 sowie 2 und 3 hoch signifikant mit großem Effekt ($p < 0,001$; siehe Abbildung 40), während der Unterschied bezüglich des Anteils des Übens zwischen Gruppe 1 und 2 signifikant mit großem Effekt ist ($p = 0,05$; siehe Abbildung 40). Der Mittelwertunterschied bezüglich des Anteils des Lesens ist zwischen den Gruppen 1 und 2 sowie 1 und 3 hoch signifikant mit großem Effekt ($p < 0,001$; siehe Abbildung 40), zwischen den Gruppen 2 und 3 sehr signifikant mit großem Effekt ($p = 0,01$; siehe Abbildung 40).

Abbildung 40

Mittelwertvergleiche zwischen den relativen Anteilen der Lernzeitverteilung im Gruppenvergleich



Anmerkung. $N = 55$. Die Mittelwerte der relativen Anteile der Lernzeitverteilung wurden basierend auf der individuellen Lernzeitverteilung von der individuellen Gesamtzeit der Bearbeitung der Lernumgebung berechnet.

Diskussion und weiterführende Fragen. Eine Betrachtung der Prozessmerkmale des gesamten Samples verdeutlicht, dass die Lernenden trotz der aufgabenbasierten Gestaltung der oadL (und damit verbunden dem deutlichen größeren Angebot an Übungsaufgaben im Vergleich zu Instruktionen, Beispielen und Tests) primär Instruktionen und Beispiele lesen. Gerade in Anbetracht der Gestaltung der verschiedenen Seiten und damit verbunden der von den Lernenden auf den einzelnen Seiten im Mittel verbrachten Zeit pro Seitenaufruf wird dieses Ergebnis gestützt. Instruktionen und Beispiele bestehen ausschließlich aus kurzen Texten und werden schneller gelesen ($MW = 1,16$ Minuten, $SD = 0,64$ Minuten) als Kurz- oder Übungsaufgaben ($MW = 1,68$ Minuten, $SD = 0,85$ Minuten) oder Tests ($MW = 5,15$ Minuten, $SD = 3,02$ Minuten) bearbeitet werden. Dennoch sind die prozentualen Anteile der in der oadL verbrachten Zeit bzgl. der Aktivität des Lesens (auf Instruktions- und Beispielseiten verbrachte Zeit; $MW = 38,53$ %, $SD = 20,72$ %) höher als diejenigen zum Üben ($MW = 29,44$ %, $SD = 19,77$ %) oder zum Testen ($MW = 21,96$ %, $SD = 18,90$ %). Die hohen Standardabweichungen sowohl in den prozentualen zeitlichen Anteilen bezüglich der einzelnen Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen)

sowie die hohen Standardabweichungen bezüglich der durchschnittlichen Zeiten auf einer der Seiten, deutet bereits auf große interindividuelle Unterschiede hin. Eine Unterteilung des Samples in drei Gruppen zeigt bezüglich der verschieden genutzten Aktivitäten innerhalb der oadL drei verschiedene Gruppen von Lernenden: Lernende, die primär Instruktionen und Beispiele lesen (Gruppe 1), Lernende, die primär Übungsaufgaben bearbeiten (Gruppe 2) und Lernende, die primär Tests bearbeiten (Gruppe 3). Die hier getroffene Unterscheidung von verschiedenen Bearbeitungstypen bietet das Potential im Rahmen der Zusammenhänge zwischen der Performanz und den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden sowie deren Lernerfolg weiterführend, insbesondere im Rahmen von FF3, analysiert zu werden (siehe Kapitel 6.3).

Eine Betrachtung der durchschnittlichen Zeit auf einer Seite zum Lesen, Üben oder Testen gibt einen weiteren Einblick in die Performanz der Lernenden. Während die durchschnittlichen Zeiten auf Seiten mit Inhalten zum Lesen ($MW = 1,16$ Minuten, $SD = 0,64$ Minuten) oder Inhalten zum Üben ($MW = 1,68$ Minuten, $SD = 0,85$ Minuten) realistisch im Rahmen des Umfangs der Inhalte auf dieser Seite scheinen,³⁵ zeigt sich bezüglich der Seiten zu einem Test ein anderes Bild. Tests bestehen aus einer Reihe von Aufgaben (mit bis zu 12 unterschiedlichen Aufgaben und Distraktoren, die sich an gängigen Fehlvorstellungen orientieren; siehe Kapitel 4.2.1). Die durchschnittliche Zeit von 5,15 Minuten ($SD = 3,02$ Minuten), die die Lernenden für die Bearbeitung eines Tests aufwenden, ist in Anbetracht des Umfangs eines Tests eher gering. Sowohl eine Reihe von Abbrüchen von Tests als auch eine schnelle Bearbeitung der Tests könnte zu diesem geringen Wert führen. Weiterführende Untersuchungen bieten an dieser Stelle das Potential insbesondere in Bezug zu Testinhalten, inhaltliche Analysen der Bearbeitungsprozesse durchzuführen. Inwiefern sich die geringe Bearbeitungszeit der Tests auf die Testergebnisse auswirkt, wurde mit einem Teil der Testergebnisse der Lernenden (alle Testergebnisse der Lernenden, die 2021 an einer Erhebung teilnahmen) durchgeführt. Im Mittel beantworten diese 65,13 % ($SD = 12,41$ %) aller Fragen richtig. Eine Untersuchung der Qualität der Tests für die restlichen Studierenden (Kohorte aus 2022) ist aufgrund des zeitlichen Rahmens dieser Arbeit nicht durchgeführt worden, wird jedoch in weiteren Arbeiten (Weckler, in Vorbereitung) berücksichtigt. Die kurze Bearbeitungszeit der Tests lässt sich demnach nicht primär auf eine oberflächliche Bearbeitung zurückführen,

³⁵ Instruktionen und Beispielen bestehen lediglich aus kurzen Texten, Kurz- und Übungsaufgaben aus z. T. nur einer Rechnung (siehe Kapitel 4.2.1).

sondern gibt möglicherweise Aufschluss über das Anforderungsniveau der genutzten Testaufgaben oder der zugehörigen Distraktoren bzw. Antwortoptionen.

Da die spezifische Gestaltung der oadL mit den Aktivitäten Lesen, Üben und Testen eher unüblich ist, lassen sich die Ergebnisse zu diesen Aktivitäten nur schwer mit Erkenntnissen aus anderen Studien zum SRL in Beziehung setzen. So wird bspw. in der der Arbeit von Paans et al. (2020) zu Grunde liegenden Lernumgebung zwar zwischen dem Lesen, dem Betrachten von Videos und der Bearbeitung von Arbeitsblättern unterschieden, die Bearbeitung der Arbeitsblätter und das damit verbundenen Schreiben jedoch als finales Ziel der Bearbeitung ausgegeben.

Während die Betrachtung der Gesamtgruppe sowie die Unterteilung der Lernenden in Gruppen hier bereits einen Einblick in die Performanz gibt, ist eine Betrachtung auf Ebene der einzelnen Lernenden für insbesondere eine Einordnung bezüglich der Effektivität der Performanz unumgänglich. Eine individuelle Betrachtung jeder/jedes Lernenden kann die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Quantifizierung der Performanz um eine mögliche qualitative Interpretation erweitern. Weiterführende Arbeiten könnten die bereits im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Prozessmerkmale nutzen, um individuelle Prozesse zu analysieren und somit das SRL schärfer aufzulösen. Durch bspw. eine Auswertung der Aufgabenbearbeitungen, Aufgabenlösungen und Selbsteinschätzungen der eigenen Lösungen kann das SRL ausgehend von der kleinsten Ebene untersucht werden. Entscheidungen, die sich in der Meso- oder Makroebene zeigen (passende Wahl von Lerninhalten oder die passende Wahl von Anforderungsniveaus), können somit möglicherweise nachvollzogen und interpretiert werden. Eine Einschätzung der Effektivität des SRL, die angepasst an die Dispositionen einer/eines jeden Lernenden unterschiedlich sein kann, ist so insbesondere mit dem inhaltlich detailliert aufgelösten Lernerfolg möglich.

6.3. Zusammenhänge zwischen Disposition, Performanz und Lernerfolg

In den bisherigen Unterkapiteln 6.1 und 6.2 wurden die durch die Theorie unterteilten Facetten der Disposition der Lernenden und der Performanz (vgl. Kapitel 2, Abbildung 6) einzeln beschrieben. Um den Zusammenhang zwischen den bereits untersuchten Facetten sowie dem Lernerfolg (als Variable zur Einschätzung der Effektivität des SRL) herstellen zu können, werden im folgenden Abschnitt unterschiedliche Herangehensweisen zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs genutzt. Einerseits wird basierend auf den bereits gebildeten unterschiedlichen Gruppen (u. a. der Lernenden, die nur innerhalb der Präsenzphasen des Vorkurses gearbeitet haben und Lernende, die auch in Heimarbeit die oadL bearbeitet haben; vgl. Kapitel 6.1 und 6.2) nach möglichen Zusammenhängen zwischen der Performanz, dem Lernerfolg und den Dispositionen gesucht. Erweitert werden die bisher gebildeten Gruppen dabei durch weitere Gruppen, die auf der Abfolge instruktionaler Elemente und Inhalte der oadL basieren (siehe Kapitel 6.3.1). Andererseits wird mit berechneten Prozessmerkmalen, den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg rechnerisch nach Zusammenhängen gesucht (siehe Kapitel 6.3.2).

6.3.1 Gruppenvergleich zu dispositionellen Unterschieden und Unterschieden im Lernerfolg

Die zur Untersuchung der Dispositionen (siehe Kapitel 6.1) und der Performanz der Lernenden (siehe Kapitel 6.2) identifizierten unterschiedlichen Gruppen bezüglich u. a. der Lernzeitverteilung über einzelne Elemente der oadL oder der Lernenden mit und ohne ergänzende Heimarbeit werden im Folgenden auf dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg untersucht.

Dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg zwischen Gruppen mit und ohne ergänzende Heimarbeit („B+“, „B“)

Die Lernenden, die die oadL zusätzlich von zu Hause bearbeiteten („B+“) und diejenigen Lernenden, die lediglich innerhalb des Vorkurses an der oadL arbeiteten („B“), unterscheiden sich mit einer großen Effektstärke im FSK ($t(52) = -2,400$; $p = 0,020$; $d = 0,974$). Lernende, die auch von zu Hause in der oadL arbeiteten, haben ein deutlich niedrigeres FSK als Lernende, die nur während des Vorkurses in der Lernumgebung arbeiteten (siehe Tabelle 14 und Abbildung 41). In allen anderen Dispositionen sowie im Lernerfolg zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Tabelle 14

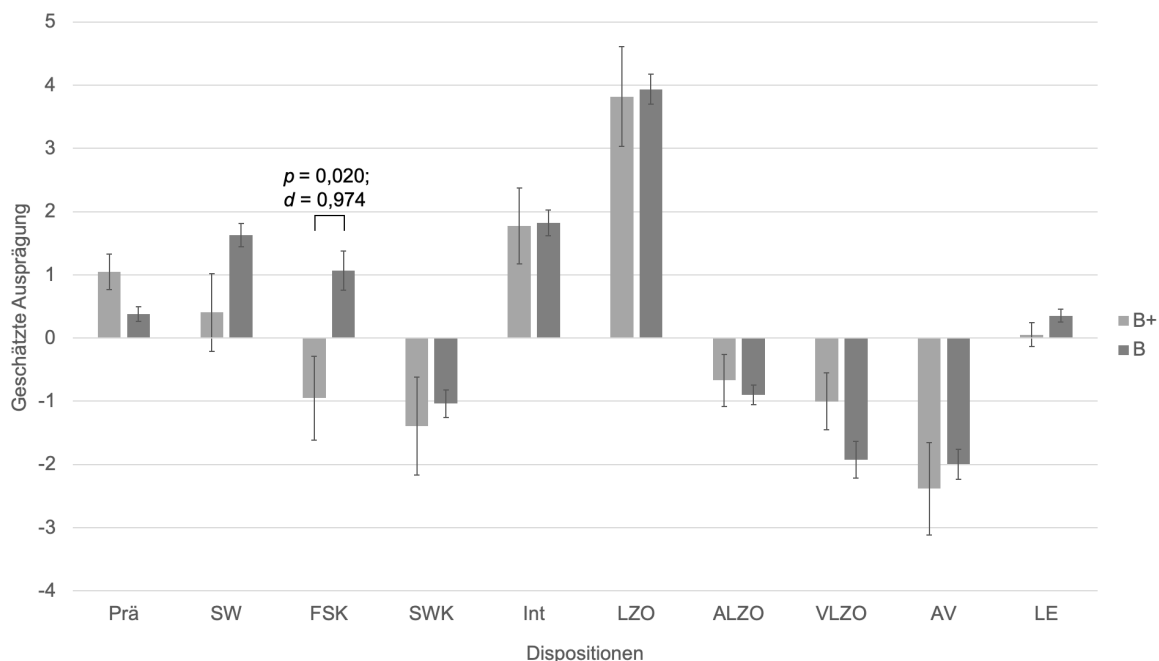
Mittelwerte dispositioneller Ausprägungen in den Gruppen mit und ohne ergänzende Heimarbeit („B+“, „B“)

Dispositionelle Ausprägung	Gruppen					
	„B“			„B+“		
	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>
Vorwissen	38	0,27	0,57	5	0,74	0,63
Selbstwirksamkeit	47	1,63	1,26	6	0,40	1,63
Fähigkeitsselbstkonzept	47	1,07	2,11	7	-0,95	1,76
Selbstwertkontingenz	48	-1,04	1,51	7	-1,39	2,05
Interesse	47	1,82	1,41	7	1,77	1,59
Lernzielorientierung	48	3,93	1,65	7	3,82	2,08
Annäherungsleistungszielorientierung	47	-0,90	1,04	7	-0,67	1,08
Vermeidungsleistungszielorientierung	48	-1,92	2,02	7	-1,00	1,19
Arbeitsvermeidung	48	-1,91	1,64	7	-2,38	1,93
Lernerfolg	38	0,35	0,62	5	0,05	0,42

Anmerkung. Ausreißer, deren z-standardisierter Wert außerhalb der festgelegten Grenzen lag, wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

Abbildung 41

Mittelwertvergleiche dispositioneller Ausprägungen zwischen den Gruppen mit und ohne ergänzende Heimarbeit („B+“, „B“)



Anmerkung. „B+“: $n = 7$; „B“: $n = 49$. p beschreibt die Signifikanz des Mittelwertunterschieds zwischen den dispositionellen Ausprägungen der verschiedenen Gruppen, Cohens d die Effektstärke des Unterschieds. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, FSK: Fähigkeitsselbstkonzept, SWK: Selbstwertkontingenz, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, LE: Lernerfolg. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der berechneten Mittelwerte dar. Die geschätzte Ausprägung der Dispositionen basiert auf jeweils einer Rasch-Auswertung der Dispositionen.

Dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg bezüglich den gebildeten Extremgruppen zur Linearität der Bearbeitung

Zwischen den beiden bezüglich der Linearität der Bearbeitung ausgewählten Extremgruppen (siehe Kapitel 6.2.2) der „weniger linearen Bearbeitung“ (kurz „wlb“) und der „eher linearen Bearbeitung“ (kurz „elB“) kann lediglich ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren dispositionellen Ausprägungen festgestellt werden. Die Mittelwerte der Gruppen zur dispositionellen Ausprägung der SWK unterscheiden sich signifikant mit großem Effekt ($t(14,86) = -2,251$; $p = 0,040$; $d = -1,404$). Diejenigen Lernenden, die eher linear durch die oadL navigieren, haben eine niedrigere Ausprägung der SWK. Tendenzen weiterer signifikanter Unterschiede der dispositionellen Ausprägungen, die jedoch nicht

unter die Signifikanzgrenze von $p < 0,05$ fallen, lassen sich in den Ausprägungen der AV, der ALZO und der VLZO erkennen (siehe Tabelle 15 und Abbildung 42).

Tabelle 15

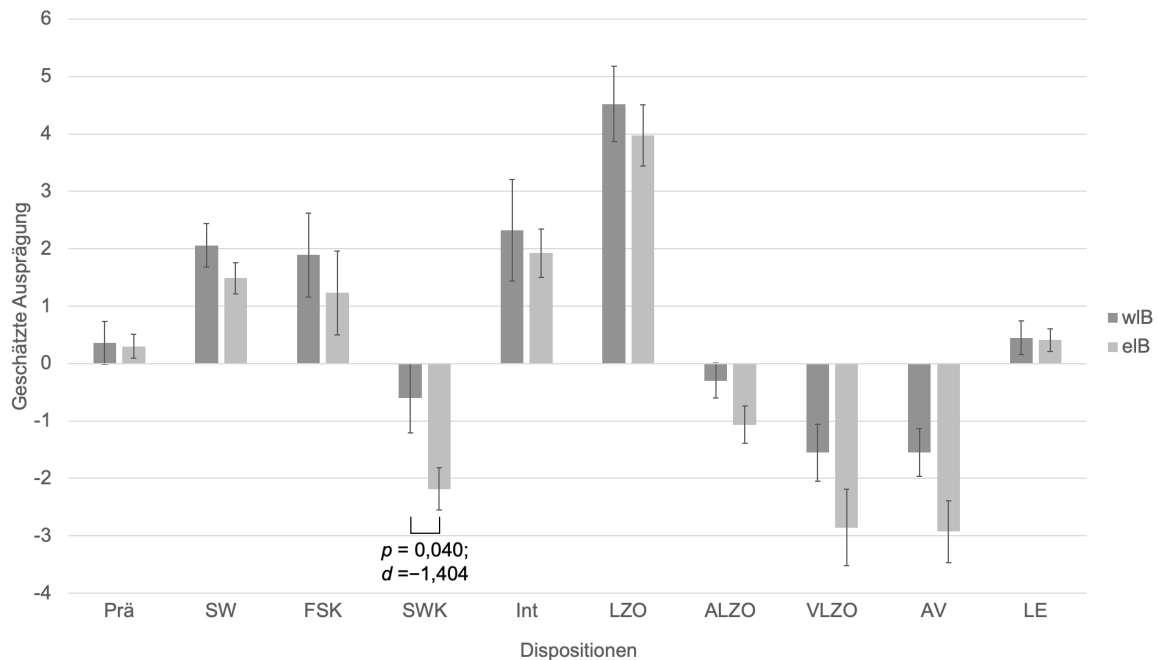
Mittelwerte zu den dispositionellen Ausprägungen der Gruppe der „eher linearen Bearbeitung“ („eLB“) und der „eher weniger linearen Bearbeitung“ („wLB“)

Dispositionelle Ausprägung	Gruppen					
	„wLB“			„eLB“		
	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>
Vorwissen	9	0,36	0,71	9	0,30	0,49
Selbstwirksamkeit	10	2,06	1,19	10	1,49	0,85
Fähigkeitsselbstkonzept	10	1,89	2,29	10	1,23	2,32
Selbstwertkontingenz	10	-0,60	1,90	10	-2,18	1,16
Interesse	10	2,32	2,78	10	1,92	1,33
Lernzielorientierung	10	4,52	2,08	10	3,97	1,69
Annäherungsleistungszielorientierung	10	-0,30	0,96	10	-1,07	1,03
Vermeidungsleistungszielorientierung	10	-1,55	1,56	10	-2,85	2,10
Arbeitsvermeidung	10	-1,55	1,31	10	-2,93	1,69
Lernerfolg	9	0,45	0,63	9	0,41	0,59

Anmerkung. „eLB“: Lernende, die die Inhalte der oadL eher linear bearbeitet haben, „wLB“: Lernende, die die Inhalte der oadL eher weniger linear bearbeitet haben. Ausreißer, deren z-standardisierter Wert außerhalb der festgelegten Grenzen lag, wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

Abbildung 42

Mittelwertvergleiche zu dispositionellen Ausprägungen zwischen den Gruppen der „eher linearen Bearbeitung“ („eIB“) und der „eher weniger linearen Bearbeitung“ („wIB“)



Anmerkung. „wIB“: $n = 10$; „eIB“: $n = 10$. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, FSK: Fähigkeitsselbstkonzept, SWK: Selbstwertkontingenz, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungzielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungzielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, LE: Lernerfolg. p beschreibt die Signifikanz des Mittelwertunterschieds zwischen den dispositionellen Ausprägungen der verschiedenen Gruppen, Cohens d die Effektstärke. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der Mittelwerte dar. Die geschätzte Ausprägung der Dispositionen basiert auf jeweils einer Rasch-Auswertung der Dispositionen.

Dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg zwischen den Gruppen der verschiedenen Aktivitätsschwerpunkten (Lesen, Üben, Testen)

Die in Kapitel 6.2.3 gebildeten Gruppen zu den unterschiedlichen Lernzeitverteilungen bezüglich der Aktivitäten (lesen, üben und testen) werden auf Mittelwertunterschiede bezüglich der mittleren dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg untersucht. Mit Hilfe einer ANOVA konnten hier keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dispositionen und dem Lernerfolg zwischen den Gruppen identifiziert werden. Lediglich in Anbetracht des Vorwissens der Lernenden (siehe Tabelle 16 und Abbildung 43) zeigt sich eine Tendenz eines Mittelwertunterschieds zwischen den Gruppen der Schwerpunkte „Lesen“ und „Üben“ ($F(2,40) = 3,102$; $p = 0,060$). Die Gruppen werden dabei nach dem Schwerpunkt ihrer Lernzeitverteilung bezüglich der Aktivitäten Lesen, Üben und Testen benannt (Gruppe 1: „Lesen“, Gruppe 2: „Üben“, Gruppe 3: „Testen“).

Tabelle 16

Mittelwerte zu dispositionellen Ausprägungen zwischen den Gruppen unterschiedlicher Lernzeitverteilungen bezüglich der verschiedenen Aktivitäten Lesen, Üben, Testen

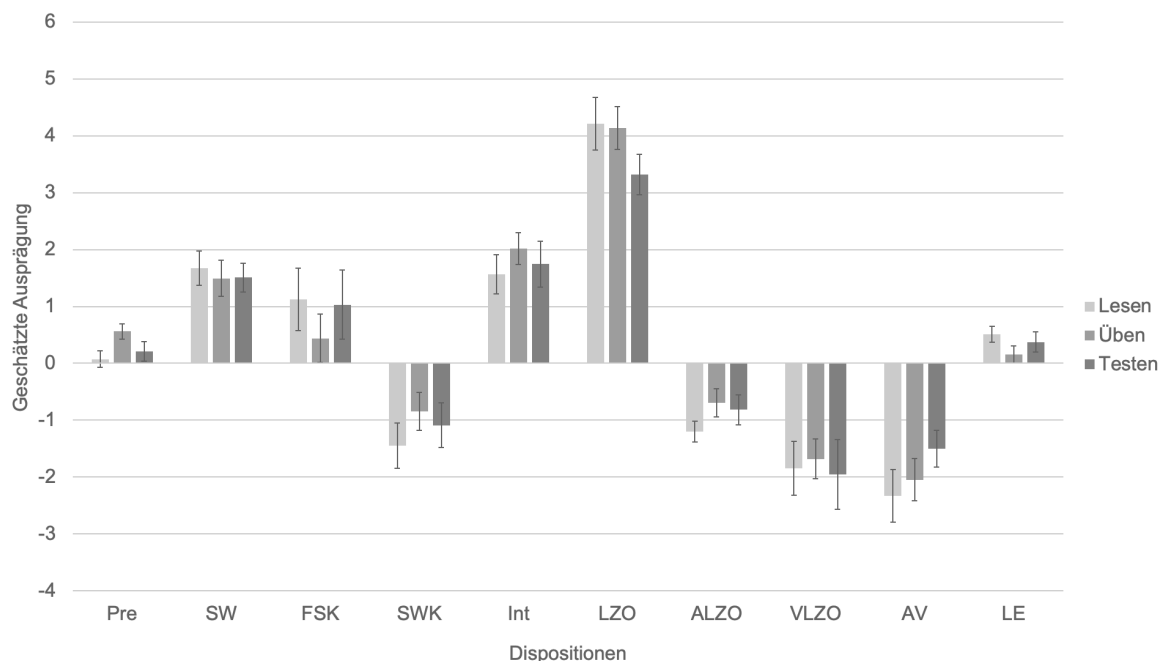
Dispositionelle Ausprägung	Gruppen								
	„Lesen“			„Üben“			„Testen“		
	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>MW</i>	<i>SD</i>
Vorwissen	12	0,07	0,49	19	0,56	0,58	12	0,21	0,61
Selbstwirksamkeit	14	1,67	1,13	23	1,50	1,50	16	1,51	1,01
Fähigkeits-selbstkonzept	15	1,13	2,12	23	0,44	2,04	16	1,03	2,41
Selbstwert-kontingenz	15	-1,45	1,53	24	-0,85	1,62	16	-1,09	1,57
Interesse	15	1,57	1,34	23	2,02	1,34	16	1,74	1,63
Lernzielorientierung	15	4,21	1,78	24	4,14	1,75	16	3,32	1,42
Annäherungs-leistungsziel-orientierung	15	-1,20	0,71	23	-0,69	1,18	16	-0,82	1,06
Vermeidungs-leistungsziel-orientierung ^a	15	-1,85	1,82	24	-1,68	1,72	16	-1,95	2,45
Arbeitsvermeidung	15	-2,33	1,79	24	-2,05	1,81	16	-1,51	1,30
Lernerfolg	12	0,51	0,49	19	0,16	0,65	12	0,37	0,61

Anmerkung. *N* = 55. Ausreißer, deren z-standardisierter Wert außerhalb der festgelegten Grenzen lag, wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

^a Die Ausprägungen der VLZO sind nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p < 0,05$). Aufgrund der Robustheit der einfaktoriellen Varianzanalyse gegenüber einer Verletzung der Voraussetzung der Normalverteilung wird die einfaktorielle Varianzanalyse dennoch auch bezüglich der VLZO durchgeführt.

Abbildung 43

Mittelwertvergleiche zu dispositionellen Ausprägungen zwischen den Gruppen „Lesen“, „Üben“ und „Testen“



Anmerkung. „Lesen“: $n = 15$, „Üben“: $n = 24$, „Testen“: $n = 16$. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, FSK: Fähigkeitsselbstkonzept, SWK: Selbstwertkontingenz, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, LE: Lernerfolg. Der Fehlerbalken stellt den doppelten Standardfehler der Mittelwerte dar. Die geschätzte Ausprägung der Dispositionen basiert auf jeweils einer Rasch-Auswertung der Dispositionen.

Dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg basierend auf Abfolgen instruktionaler Elemente und Inhalte (Lineplots)

Zur weiterführenden Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Performanz der Lernenden, deren Dispositionen und deren Lernerfolg wurden Lineplots zur Visualisierung der Bearbeitungsprozesse angefertigt. Innerhalb der Lineplots werden die Seitenaufrufe der Lernenden nach Aktivität und Thema zeitlich aufgelöst (vgl. Kapitel 5.2.2). Die Lineplots stellen damit individuelle Bearbeitungsprozesse in der zeitlichen Abfolge visuell dar und erlauben, diese auf einer heuristischen Ebene mit Dispositionen und Lernerfolgen in Beziehung zu setzen.

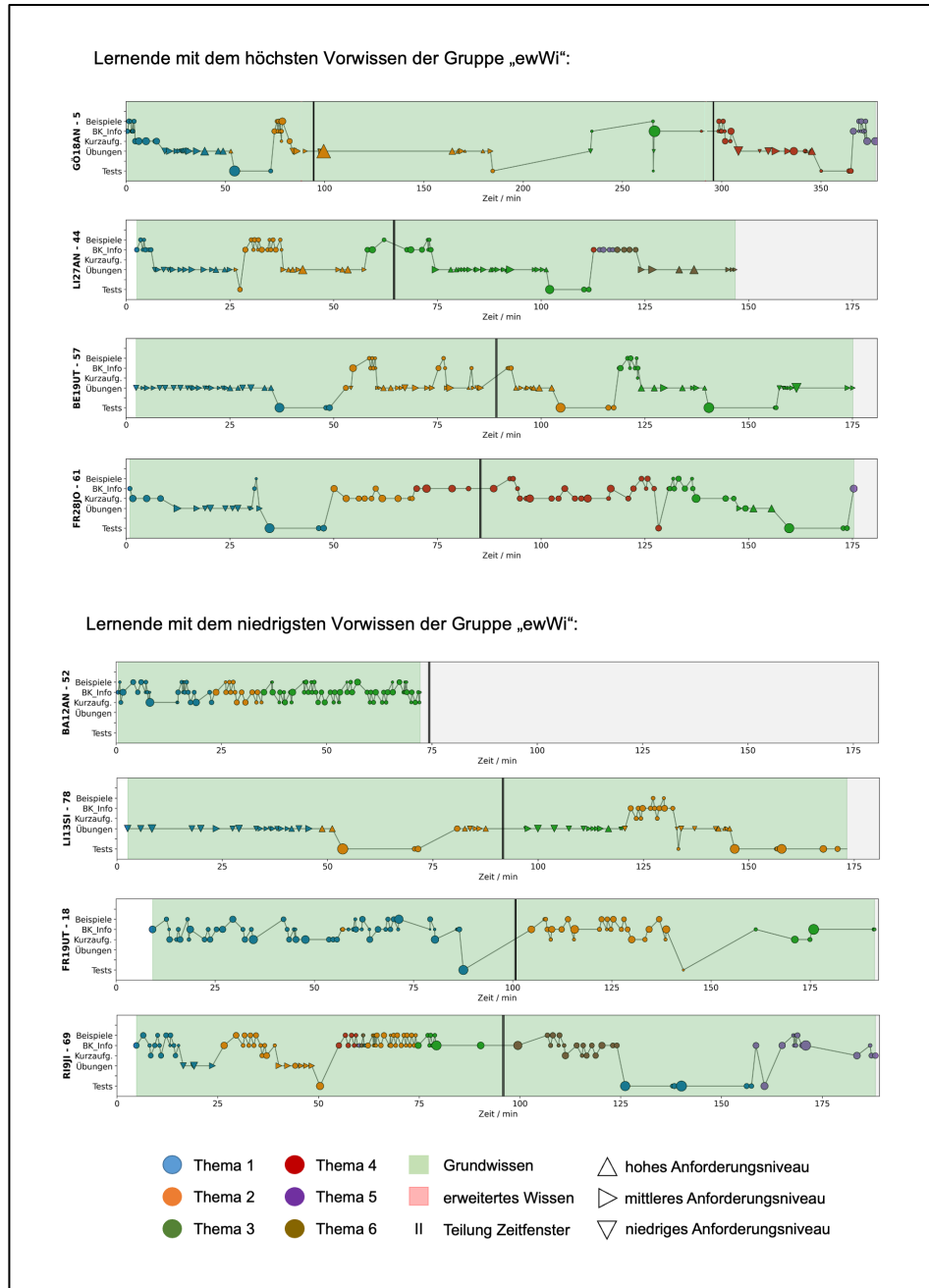
Bei der Betrachtung der Lineplots der Lernenden der Gruppe „ewWi“ mit dem größten und mit dem kleinsten Vorwissen (siehe Abbildung 44) lässt sich schon auf der Oberfläche erkennen, dass eine Reihe der Lineplots sehr unterschiedlich ausfallen. Es lässt sich kein

klarer Zusammenhang zwischen der Verweildauer der Lernenden in einzelnen Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen) oder der gesamten Bearbeitungszeit und dem Vorwissen erkennen³⁶. Ebenfalls nicht erkennbar sind Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen der Lernenden und den vorgenommenen Seitenwechseln zwischen verschiedenen Aktivitäten oder Themen. Auch beim Vergleich zwischen der Performanz der Lernenden mit dem größten und mit dem kleinsten Lernerfolg der Gruppe „ewWi“ lassen sich keine eindeutigen Unterschiede im Navigationsverlauf finden (siehe Abbildung 45). Lediglich mit Blick auf die Verweildauer der Lernenden innerhalb eines einzelnen Themas, lässt sich ein möglicher Unterschied zwischen denjenigen Lernenden mit hohem und niedrigem Lernerfolg erkennen: Während Lernende mit hohem Lernerfolg i. d. R. nach ca. 90 Minuten aus dem ersten Themenblock in den zweiten Themenblock wechseln, wechseln Lernende mit niedrigem Lernerfolg bereits innerhalb der ersten 90 Minuten in den zweiten Themenblock. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass die hier abgebildeten Lernenden mit hohem Lernerfolg tendenziell länger innerhalb der oadL arbeiten (siehe Abbildung 45). Während die basierend auf den optischen Vergleichen der Lineplots vermuteten Zusammenhänge bzw. die hier nicht erkennbaren Zusammenhänge einen ersten Einblick in mögliche Verbindungen zwischen den Dispositionen oder dem Lernerfolg mit der Performanz geben, werden diese Verbindungen mittels der berechneten Prozessmerkmale in Kapitel 6.3.2 überprüft.

³⁶ Die hier durchgeführten Vergleiche der Lineplots sind rein optisch und damit als subjektiv zu betrachten. Sie dienen lediglich zur weiteren Exploration der Performanz der Lernenden.

Abbildung 44

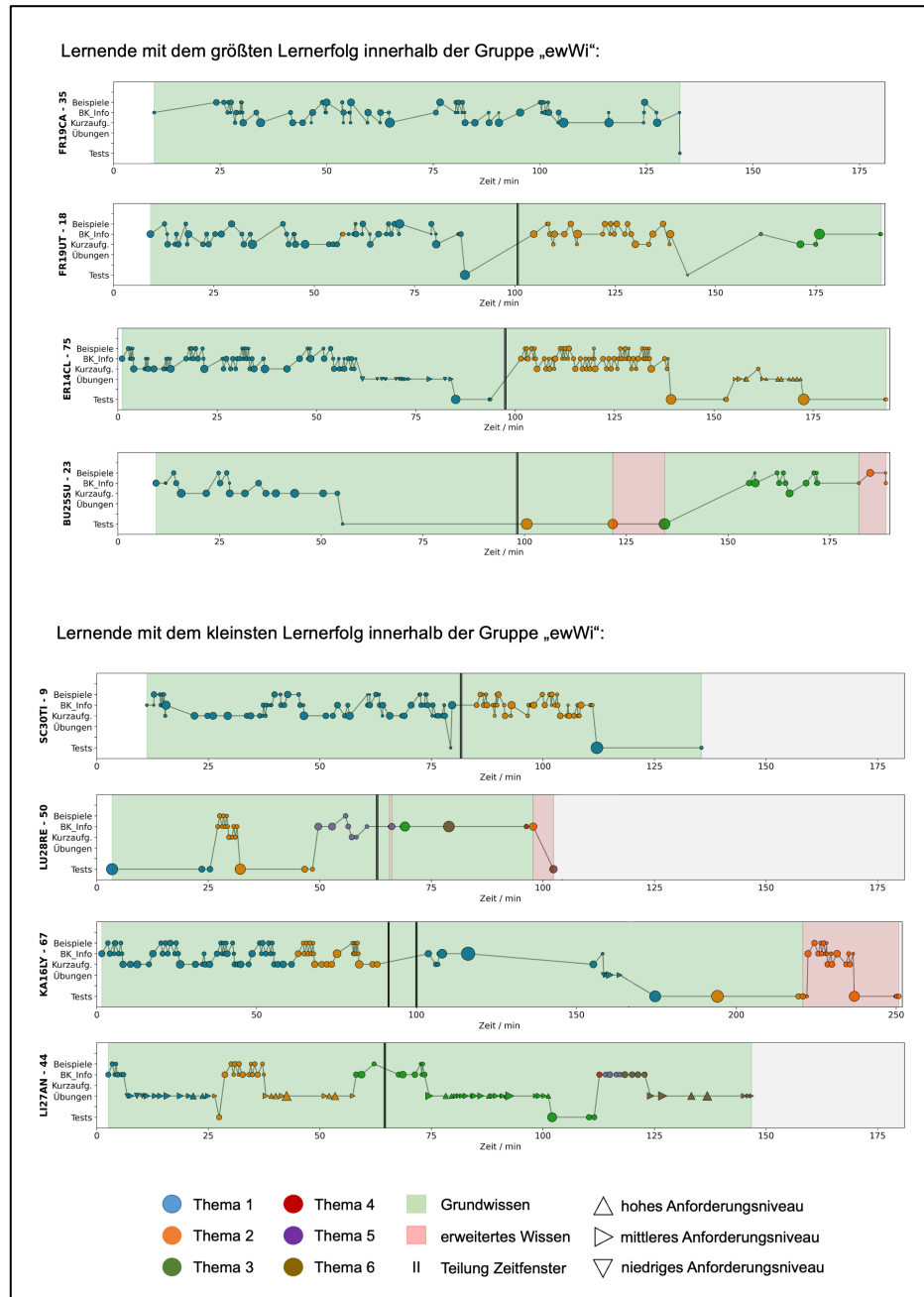
Lineplots von Lernenden der Gruppe „ewWi“ mit dem höchsten und dem niedrigsten Vorwissen



Anmerkung. Auf der Abzissenachse wird der zeitliche Verlauf in Minuten dargestellt, auf der Ordinatenachse die verschiedenen Seiten der Lernumgebung (Beispiele, „BK_Info“: Instruktionen, Kurzaufgaben, Übungen, Tests). Thema 1: „Grundgrößen der Kraft“, Thema 2: „Mehrkraftsysteme“, Thema 3: „Besondere Kräfte“, Thema 4: „Kraft und Translationsbewegungen“, Thema 5: „Kraft und Rotationsbewegungen“, Thema 6: „Reibungskräfte“. Die Teilung des Zeitfensters wird immer dann abgebildet, wenn länger als 30 Minuten keine Interaktion mit der Lernumgebung stattgefunden hat.

Abbildung 45

Lineplots von Lernenden der Gruppe „ewWi“ mit dem größten und dem kleinsten Lernerfolg



Anmerkung. Auf der Abzissenachse wird der zeitliche Verlauf in Minuten dargestellt, auf der Ordinatenachse die verschiedenen Seiten der Lernumgebung (Beispiele, „BK_Info“: Instruktionen, Kurzaufgaben, Übungen, Tests). Thema 1: „Grundgrößen der Kraft“, Thema 2: „Mehrkraftsysteme“, Thema 3: „Besondere Kräfte“, Thema 4: „Kraft und Translationsbewegungen“, Thema 5: „Kraft und Rotationsbewegungen“, Thema 6: „Reibungskräfte“. Die Teilung des Zeitfensters wird immer dann abgebildet, wenn länger als 30 Minuten keine Interaktion mit der Lernumgebung stattgefunden hat.

6.3.2 Dispositionelle Unterschiede und Unterschiede im Lernerfolg basierend auf den berechneten Prozessmerkmalen

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Dispositionen, der Performanz der Lernenden und deren Lernerfolg, wurden eine Reihe von Prozessmerkmalen berechnet (siehe Kapitel 5.2.1) und entsprechend der in Kapitel 2 aufgestellten Ebenen der Performanz des SRL zugeordnet (siehe Tabelle 5). Bei den ausgewählten Merkmalen handelt es sich jeweils um auf den jeweiligen Bearbeitungsprozess eines Individuums normierte Werte, die somit über die unterschiedlich langen Bearbeitungszeiten vergleichbar und aussagekräftiger als Absolutwerte (bspw. Anzahl der Klicks) sind. Mittels Korrelationsanalysen (siehe Kapitel 5.3) wurde jeweils der Zusammenhang zwischen den ausgewählten Prozessmerkmalen, den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden und dem Lernerfolg untersucht. Diesen Analysen vorausgegangen ist eine Analyse der Streudiagramme zwischen jeweils einem Prozessmerkmal und einer Disposition sowohl für alle Prozessmerkmale als auch für alle Dispositionen und den Lernerfolg (für einen Einblick siehe Anhang D), um nicht-lineare Zusammenhänge (bspw. quadratische Zusammenhänge) ausschließen zu können.

Mittels Korrelationsanalyse konnten eine Reihe von linearen Zusammenhängen zwischen den ausgewählten Prozessmerkmalen und den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden festgestellt werden. So korreliert die SW signifikant mit der durchschnittlichen Zeit pro Beispiel ($r = 0,339$; $p = 0,015$; $n = 51$) und der durchschnittlichen Zeit pro Test ($r = 0,306$; $p = 0,043$; $n = 51$). Zudem lassen sich Tendenzen zwischen der SW und der durchschnittlichen Zeit pro Übung ($r = 0,321$; $p = 0,068$; $n = 51$) und der durchschnittlichen Zeit pro Kurzaufgaben ($r = 0,179$; $p = 0,163$; $n = 52$) erkennen, die jedoch außerhalb der Grenzen der Signifikanz ($p < 0,050$) liegen. Die SW korreliert zudem signifikant mit der Anzahl der insgesamt durchgeführten Klicks bei der Bearbeitung ($r = -0,347$; $p = 0,010$; $n = 54$). Neben der SW korrelieren auch das Interesse und die SWK signifikant mit den durchschnittlichen Zeiten des Aufrufs einer Seite. Das Interesse hängt signifikant mit der durchschnittlichen Zeit pro Übungsaktivität ($r = 0,276$; $p = 0,045$; $n = 53$), der durchschnittlichen Zeit pro Beispiel ($r = 0,389$; $p = 0,005$; $n = 51$) sowie mit dem Anteil an langen Seitenaufrufen³⁷ ($r = 0,282$; $p = 0,039$; $n = 54$) zusammen. Die SWK der Lernenden hängt signifikant linear mit der durchschnittlichen Zeit pro Übungsseite (Kurzaufgabe und Übung; $r = 0,397$; $p = 0,003$; $n = 54$) zusammen (siehe Anhang E). In der Tendenz zeigt

³⁷ Lange Seitenaufrufe beschreiben Seitenaufrufe, bei denen die Verweildauer auf der entsprechenden Seite länger als eine Standardabweichung zu der durchschnittlichen Verweildauer auf einer Seite der oadL ist (siehe Kapitel 5.2.1).

sich somit ein Zusammenhang zwischen der Höhe des Interesses, der SW und der SWK mit der durchschnittlichen Zeit auf einer Aktivitätsseite (Instruktion, Beispiel, Kurzaufgabe, Übung, Test).

In Verbindung mit den untersuchten Prozessmerkmalen lassen sich Korrelationen mit der von den Lernenden im Grundwissen und erweiterten Wissen verbrachten Zeit feststellen. Je höher das Vorwissen, desto weniger Zeit verbringen die Lernenden im Grundwissen und umso mehr Zeit verbringen die Lernenden in Themen zum erweiterten Wissen ($r = 0,347$; $p = 0,017$; $n = 47$). Signifikante Korrelationen finden sich auch mit dem Anteil der Zeit für Leseaktivitäten: Je höher das Vorwissen, desto kürzer lesen die Lernenden Instruktionstexte und Beispiele ($r = -0,309$; $p = 0,035$; $n = 47$). Zudem gilt: Je höher das Vorwissen, desto weniger Zeit verbringen die Lernenden auf Instruktionsseiten ($r = -0,320$; $p = 0,028$; $n = 47$). Gleichzeitig finden sich jedoch keine signifikanten korrelativen Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen der Lernenden und der anteilig auf anderen Seiten verbrachten Zeit (bspw. Übungs- oder Testseiten; siehe Anhang E), obwohl (auch wenn nicht signifikant) höheres Vorwissen mit einer längeren Bearbeitungszeit der oadL zusammenhängt ($r = 0,277$; $p = 0,060$; $n = 47$).³⁸ Die korrelativ signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und dem zeitlichen Anteil auf Instruktionsseiten, dem höheren zeitlichen Anteil an Leseaktivitäten (Instruktionen und Beispiele) sowie dem Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Anteil auf Instruktionsseiten und dem Lernerfolg ($r = 0,347$; $p = 0,023$; $n = 43$) deuten auf einen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Facetten des SRL hin (Kapitel 2).³⁹ Über die bereits berichteten Korrelationen hinausgehend können keine weiteren signifikanten Zusammenhänge zwischen den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden und deren Lernerfolg mit den hier berechneten Prozessmerkmalen identifiziert werden (siehe Anhang E).

Die hier gewonnen Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen dem Vorwissen der Lernenden, der anteilig auf Instruktionsseiten verbrachten Zeit und dem Lernerfolg und damit einem möglichen Zusammenhang zwischen Variablen der Facette der Disposition und der Performanz sowie dem Lernerfolg, werden mit Hilfe von Regressionsanalysen (siehe Kapitel 5.3) weitergehend untersucht. Keines der genutzten Moderations- und

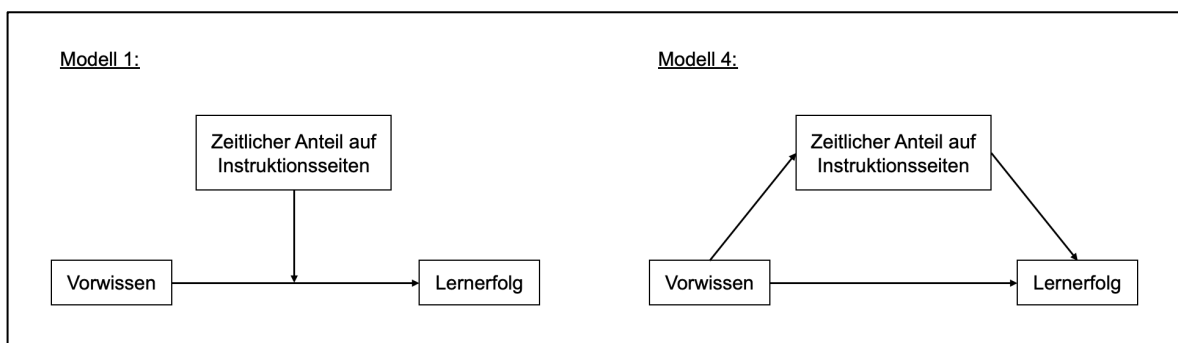
³⁸ Für die Lernenden der Gruppe „hoWi“ konnte hier ein umgekehrter Zusammenhang festgestellt werden. Innerhalb der Gruppe „hoWi“ gilt: Je höher das Vorwissen, desto weniger Zeit verbringen die Lernenden innerhalb der oadL ($r = -0,576$; $p = 0,050$; $n = 12$).

³⁹ Die hier aufgeführten Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und den Prozessmerkmalen konnte für die Lernenden der Gruppe „hoWi“ (deren hohes Vorwissen durch die Fachwissenstests nicht reliabel und valide abgebildet werden konnten) nicht repliziert werden.

Mediationsmodelle zeigt dabei signifikante Effekte bzw. signifikante indirekte Effekte, die über den Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg (siehe Kapitel 6.1.3) hinausgingen (Tabelle 17 für Modell 1 von Hayes sowie Tabelle 18 für Modell 4 von Hayes, siehe Abbildung 46). Gleiches gilt für Modelle, die anstatt der anteilig auf Instruktionsseiten verbrachten Zeit die anteilig mit Leseaktivitäten (Instruktionsseiten und Beispiele) verbrachte Zeit in den Blick nehmen. Nicht nur der zeitliche Anteil der Lernenden auf Instruktions- bzw. Leseseiten kann hier nicht sinnvoll als Mediator bzw. Moderator zwischen Vorwissen und Lernerfolg eingesetzt werden, darüber hinaus wurden auch explorativ alle weiteren gebildeten Prozessmerkmale als Mediatoren und Moderatoren in den Modellen von Hayes (Modelle 2, 4, 7, 8, 14, 15; Hayes, 2017), inklusive der Kombination von Mediatoren und Moderatoren, erfolglos auf signifikante (indirekte) Effekte untersucht.

Abbildung 46

Mediations- und Moderationsmodelle zum Zusammenhang zwischen Vorwissen, Performanz und Lernerfolg



Anmerkung. Modell 1: Moderationsmodell, Modell 4: Mediationsmodell; Hayes, 2017. Vorwissen: Geschätzte Ausprägung des Vorwissens mittels Rasch-Modell, Zeitlicher Anteil auf Instruktionsseiten: Mittelwert der relativen Anteile auf Instruktionsseiten (Instruktionsseiten beinhalten neben den Instruktionstexten auf die Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben) an der individuell in der Lernumgebung verbrachten Gesamtzeit, Lernerfolg: Geschätzte Ausprägung berechnet durch die Differenz zwischen der geschätzten Ausprägung des Wissens vor und nach der Bearbeitung der oadL.

Tabelle 17*Moderationsmodell zum Zusammenhang zwischen Vorwissen, Performanz und Lernerfolg*

Modell 1 (Hayes)	B	SE von B	t	p	95 % CI für B	
					LL	UL
Konstante	0,399	0,209	1,908	0,064	-0,367	0,790
Vorwissen	-0,524	0,277	-0,189	0,066	-1,107	0,029
Zeitlicher Anteil auf Instruktionsseiten	0,003	0,004	0,658	0,514	-0,006	0,015
Int	-0,003	0,007	-0,366	0,716	-0,020	0,016

Anmerkung. $n = 43$, $R^2 = 0,409$; $F(1, 39) = 9,012$; $p = 0,000$; $\Delta R^2 = 0,002$, $p = 0,716$.
 Modell 1: Moderationsmodell; Hayes, 2017. Vorwissen: Geschätzte Ausprägung des Vorwissens mittels Rasch-Modell, Zeitlicher Anteil auf Instruktionsseiten: Mittelwert der relativen Anteile auf Instruktionsseiten (Instruktionsseiten beinhalten neben den Instruktionstexten auch die Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben) an der individuell in der Lernumgebung verbrachten Gesamtzeit, Lernerfolg: Geschätzte Ausprägung berechnet durch die Differenz zwischen der geschätzten Ausprägung des Wissens vor und nach der Bearbeitung der oadL. Int: Interkorrelationskoeffizient.

Tabelle 18*Mediationsmodell zum Zusammenhang zwischen Vorwissen, Performanz und Lernerfolg*

Modell 4 (Hayes)	B	SE von B	t	p	95 % CI für B	
					LL	UL
Konstante	0,394	0,190	2,076	0,044	0,010	0,778
Vorwissen	-0,602	0,135	-4,444	0,000	-0,876	-0,328
Zeitlicher Anteil auf Instruktionsseiten	0,004	0,005	0,784	0,438	-0,006	0,014

Anmerkung.
 $R^2 = 0,411$; $F(2, 40) = 13,973$ $p = 0,000$; indirekter Effekt 95 % CI [-0,214, 0,067]
 Modell 4: Mediationsmodell; Hayes, 2017. Vorwissen: Geschätzte Ausprägung des Vorwissens mittels Rasch-Modell, Zeitlicher Anteil auf Instruktionsseiten: Mittelwert der relativen Anteile auf Instruktionsseiten (Instruktionsseiten beinhalten neben den Instruktionstexten auch die Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben) an der individuell in der Lernumgebung verbrachten Gesamtzeit, Lernerfolg: Geschätzte Ausprägung berechnet durch die Differenz zwischen der geschätzten Ausprägung des Wissens vor und nach der Bearbeitung der oadL.

Diskussion der Ergebnisse und weiterführende Fragen. Im Rahmen der explorativen Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Facetten des SRL (hier Dispositionen und Performanz) sowie dem Lernerfolg wird in Verbindung mit den Ergebnissen der vorherige Unterkapitel die Komplexität des Vorhabens deutlich: Die im Forschungsprojekt erfassten Variablen zu den Dispositionen, der Performanz und dem Lernerfolg sowie der Fokus auf eine oadL ermöglichen zwar Einsichten in SRL-Prozesse, diese sind aber gleichzeitig aufgrund der je spezifischen Auswahl der Variablen nur eingeschränkt generalisierbar. Die Ergebnisse können dennoch wertvolle Ausgangspunkte für weitere Untersuchungen liefern. Vielversprechend sind hier u. a. Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen dem Vorwissen, dem Lernerfolg und der Performanz der Lernenden. So ist insbesondere das Vorwissen nicht nur ein wesentlicher Prädiktor für den Lernerfolg bei der Bearbeitung einer oadL, sondern hängt darüber hinaus auch mit Prozessmerkmalen insbesondere der Mesoebene, z. B. den zeitlichen Anteilen in verschiedenen Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen) oder in verschiedenen Wissensbereichen (Grundwissen, erweitertes Wissen) zusammen. Auch wenn kein signifikanter Mediations- oder Moderationseffekt zum Zusammenhang zwischen dem Vorwissen, der Performanz der Lernenden und deren Lernerfolg identifiziert werden kann, lassen sich basierend auf den Ergebnissen zur Performanz Verbindungen zwischen dem Vorwissen, der Performanz und dem Lernerfolg herstellen.

Für den Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Lernerfolg in Verbindung mit der Bearbeitung der oadL lässt sich festhalten: Je kleiner das Vorwissen, desto größer der Lernerfolg ($r = -0,634$; $p < 0,001$; $n = 43$). Auch wenn dieser Zusammenhang in Verbindung mit dem vergleichsweise hohen Vorwissen der Lernenden im Sample (siehe Kapitel 6.1.1) einen Deckeneffekt der Inhalte und Anforderungsniveaus der entwickelten oadL nahelegt (siehe Kapitel 6.1.3), deuten die Erkenntnisse zur Performanz (siehe Kapitel 6.2.1) auf einen anderen Zusammenhang hin. Zwar hängt die anteilige Nutzung des erweiterten Wissens signifikant mit dem Vorwissen der Lernenden zusammen ($r = 0,347$; $p = 0,017$; $n = 47$), dennoch sind die Anteile der Bearbeitung des erweiterten Wissens⁴⁰ mit 5,56 % ($SD = 8,20$ %) der Gesamtzeit sehr gering. Selbst Lernende der Gruppe „hoWi“ verbringen lediglich 12,67 % ($SD = 10,10$ %) ihrer Gesamtbearbeitungszeit im erweiterten

⁴⁰ Im erweiterten Wissen werden Inhalte auf einem höheren Anforderungsniveau bearbeitet, bspw. werden Kräfte im dreidimensionalen Raum betrachtet, während diese im Grundwissen nur im ein- oder zweidimensionalen Raum betrachtet werden.

Wissen. Mit Blick auf die festgestellte allgemeine Linearität der Bearbeitung⁴¹ der oadL, kann daher vermutet werden, dass die Lernenden bei der Bearbeitung wenig nach spezifischen Inhalten suchen oder zu ihnen passende Anforderungsniveaus auswählen. Gerade das lineare Vorgehen der Lernenden scheint unter Einbezug des Zusammenhangs von Vorwissen und Lernerfolg für Lernende mit einem niedrigen Vorwissen effektiv zu sein, während Lernende mit hohem Vorwissen von diesem Navigationsverhalten nicht profitieren. Bisherige Befunde liefern ähnliche Ergebnisse. So konnte in einigen wenigen Arbeiten bereits festgestellt werden, dass Lernende mit geringem Vorwissen von linear gestalteten Lernumgebungen deutlich mehr profitieren als Lernende mit hohem Vorwissen (vgl. Chen & Macredie, 2010; Ford & Chen, 2000; Shapiro, 2004). Trotz der Möglichkeit der freien Navigation in der für das Forschungsprojekt entwickelten oadL wird dieser Zusammenhang durch das primäre lineare Vorgehen der Lernenden durch die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit gestützt.

Zur weiterführenden Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen, der Performanz der Lernenden und deren Lernerfolg ist eine inhaltlich differenziertere Auflösung des Vorwissens/Wissens der Lernenden sowie der Inhalte und Anforderungsniveaus der oadL sinnvoll. Ein Abgleich der Inhalte, zu denen sich (keine) Lernerfolge einstellen, mit den von den jeweiligen Lernenden ausgewählten Inhalten und Anforderungsniveaus kann dabei insbesondere durch die sowohl im Fachwissenstest als auch innerhalb der oadL berücksichtigten Learning Progressions (vgl. Alonzo & Steedle, 2009; Just & von Aufschnaiter, 2020; Just et al., 2023) sowie den typischen Vorstellungen zur Mechanik (Schecker et al., 2018) durchgeführt werden. Unter Einbezug der gleichermaßen inhaltlich aufgelösten Qualität von Aufgaben- und Testlösungen, die im Rahmen des Forschungsprojektes bereits erfasst, jedoch noch nicht ausgewertet wurden (siehe Kapitel 4.2.2), kann sowohl die Passung von gewählten Inhalten mit dem eigenen Wissensstand als auch die Wahl von Anforderungsniveaus detaillierter eingeschätzt werden. Eine mögliche Erweiterung bieten die ebenfalls bereits erfassten situationsspezifischen Fähigkeiten der Selbsteinschätzung eigener Lösungen oder die damit verbundene Planung möglicher weiterer Schritte der Bearbeitung (siehe Kapitel 4.2.2). Eine inhaltliche Auflösung sowohl der Inhalte des Fachwissenstests als auch der Inhalte der oadL und der Lösungen der Lernenden bietet dabei mehrere Vorteile. Durch

⁴¹ Im Mittel finden 37,45 % ($SD = 17,78$ %) aller Seitenwechsel in der exakten Reihenfolge der Seiten statt. Durch die offene Gestaltung der oadL und die durch einen Crawler dennoch identifizierte exakte Reihenfolge wird die Linearität der Navigation durch diesen Wert vermutlich deutlich unterschätzt (siehe Kapitel 6.2.2).

eine solche Auflösung kann nicht nur die Effektivität der Linearität der Bearbeitung und damit der mögliche Zusammenhang zwischen Vorwissen, Linearität der Bearbeitung und Lernerfolg differenzierter eingeschätzt werden, sondern es ergeben sich dadurch auch weiterführende Auswertungsmöglichkeiten der Performanz. Während bspw. die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Prozessmerkmale zur Quantifizierung der Performanz i. d. R. basierend auf der Zeit oder der Interaktionen der Lernenden mit der oadL (Klicks) berechnet werden, werden Prozessmerkmale zu Inhalten oder Anforderungsniveaus noch nicht in den Blick genommen. Eine Betrachtung der durchschnittlich von Lernenden gewählten Anforderungsniveaus, der durchschnittlichen Qualität ihrer Lösungen oder der durchschnittlichen Qualität der Einschätzung eigener Lösungen kann hier Aufschluss über Zusammenhänge zwischen Performanz und Lernerfolg geben. Auch kann darüber hinaus losgelöst von den in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Berechnungen der zu Grunde liegenden zeitlichen Sequenzierungen (bspw. relativer Anteil der Lernzeitverteilung) eine inhaltliche Sequenzierung als Grundlage für die Berechnung von Prozessmerkmalen genutzt werden (bspw. wie viele Beispiele werden durchschnittlich zu einem Thema bearbeitet).

Ansätze für weitere Untersuchungen des SRL bieten die im Forschungsprojekt erfassten Zusammenhänge zwischen den dispositionellen Ausprägungen und der Performanz der Lernenden. In Anbetracht der statistisch signifikanten Korrelationen zwischen dem Vorwissen und einigen Prozessmerkmalen der Lernzeitverteilung, sowie den signifikanten Korrelationen zwischen der SW, dem Interesse und der SWK mit einer Reihe von Prozessmerkmalen zu den durchschnittlich pro Seite verbrachten Zeiten, kann ein Zusammenhang zwischen der Performanz und den Dispositionen vermutet werden. Während das Vorwissen primär mit Prozessmerkmalen auf Mesoebene (hier der Lernzeitverteilung) zusammenhängt, scheinen SW, Interesse und SWK primär mit Prozessmerkmalen der Mikroebene (hier durchschnittliche Zeiten pro Seitenaufruf) zusammenzuhängen. Barab et al. (1997) stellen einen ähnlichen Zusammenhang zwischen der SW, dem Wechsel von Seiten und damit verbunden den durchschnittlichen Zeiten auf einer Seite fest. Je höher die SW, desto mehr Zeit verbringen die Lernenden auf einer Seite bevor sie auf eine weitere Seite navigieren. Auch der von u. a. Vollmeyer und Rheinberg (1998) beschriebene Zusammenhang zwischen interessierten Lernenden und einer tiefgehenderen Bearbeitung von Texten passt zu den Befunden des Zusammenhangs zwischen der durchschnittlichen Zeit pro Seitenaufruf und der SW sowie dem Interesse. Gleichmaßen stellen eine Reihe von Autorinnen und Autoren fest, dass das Vorwissen mit der Navigation und damit verbunden der Lernzeitverteilung zusammenhängt (zsf.

Moos & Azevendo, 2008b). Unterschiedliche Dispositionen scheinen also mit unterschiedlichen Ebenen der Performanz beim SRL zusammenzuhängen. Unklar bleibt aufgrund der nicht festgestellten Zusammenhänge zum Lernerfolg in Verbindung mit der Bearbeitung der oadL jedoch, inwiefern bspw. eine durchschnittlich längere Zeit pro Seitenaufruf oder eine bestimmte Lernzeitverteilung mit der Qualität von Aufgaben- und Testlösungen oder der Effektivität des SRL zusammenhängt. Aufgrund dessen, dass unterschiedliche Vorgehensweisen für unterschiedliche Lernende unterschiedlich effektiv sein können (vgl. Atkinson et al., 2000; Koedinger et al., 2015; van Gog & Rummel, 2010), ist eine über die hier durchgeführte Korrelationsanalyse hinaus weiterführende Analyse der Zusammenhänge mit u. a. dem Lernerfolg notwendig. Einen Ansatz dafür bieten die bereits im Forschungsprojekt genutzten Clusteranalysen zur Unterteilung der Lernenden in verschiedene Gruppen.

Trotz der kleinen Samplegröße ($N = 55$) können im Rahmen der Auswertung der Performanz der Lernenden analog zu bisherigen Arbeiten (vgl. Graf et al., 2010; MacGregor, 1999; Shapiro, 2004) unterschiedliche Gruppen der Performanz gebildet werden. Unterschieden werden kann u. a. in Lernende, die (1) primär Texte und Beispiele lesen, (2) primär üben und (3) Lernende, die primär Tests bearbeiten (siehe Kapitel 6.2.3). Zudem können Lernende bezüglich der Linearität der Bearbeitung (siehe Kapitel 6.2.2) oder bezüglich der zusätzlichen Bearbeitung der oadL in Heimarbeit (siehe Kapitel 6.2.1) unterschieden werden. Zwar lassen sich zwischen diesen Gruppen Mittelwertunterschiede zwischen den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden finden (bspw. Lernende, die die oadL eher linear bearbeiten, haben eine niedrigere SWK als Lernende, die die oadL weniger linear bearbeiten; siehe Kapitel 6.3.1), Unterschiede im Lernerfolg können jedoch nicht zwischen den Gruppen identifiziert werden. Auch erste Ansätze der Umkehrung einer Clusteranalyse führen zu keinen erkennbaren Zusammenhängen mit dem Lernerfolg. So wird ausgehend von Lernenden mit bspw. hohem und niedrigem Lernerfolg nach Gemeinsamkeiten/Unterschieden der Bearbeitungsprozesse bzw. der über Lineplots visualisierte Bearbeitungsprozessen gesucht (siehe Kapitel 6.3.1 und Anhang C). Da einzelne Gruppen z. T. nicht mehr als zehn Lernende umfassen, ist für eine weiterführende Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Performanz und Lernerfolg mittels Clusteranalyse und Mittelwertvergleichen eine Erweiterung des Samples notwendig. Denn gerade Clusteranalysen und Mittelwertvergleiche haben das Potential, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Verhaltensweisen und dem Lernerfolg über einen möglichen linearen Zusammenhang zwischen zwei Variablen innerhalb des gesamten Samples hinausgehend zu analysieren und werden nicht zuletzt daher häufig in vergleichbaren

Arbeiten genutzt (vgl. Dina & Marjianto, 2020; Kizilcec et al., 2017; Maldonado-Mahauad et al., 2018.).

Ein Gruppenvergleich derjenigen Lernenden, die auch in Heimarbeit in der oadL arbeiteten und denjenigen, die lediglich innerhalb des Präsenzkurses in der oadL arbeiteten (siehe Kapitel 4.3 und Kapitel 6.2.1), zeigen große signifikante Unterschiede in der Ausprägungen des FSK ($t(52) = -2,400$; $p = 0,020$; $d = 0,974$). Je niedriger das FSK der Lernenden, desto häufiger wird die oadL in Heimarbeit bearbeitet. Ein gleicher Zusammenhang ist in der Tendenz mit der SW zu beobachten (siehe Abbildung 41). Zwar kommen u. a. Neuville et al. (2007) zu gegensätzlichen Erkenntnissen (ein hohes SW hängt mit einer häufigeren Initiierung der Bearbeitung einer Lernumgebung zusammen), aufgrund der unterschiedlichen Settings der Untersuchungen kann dieser Befund jedoch nicht mit den in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Ergebnissen verglichen werden. Während bei Neuville et al. (2007) die Bearbeitung einer Lernumgebung vollständig selbstinitiiert über einen längeren Zeitraum in Heimarbeit durchgeführt werden soll, ist die Initiierung der Bearbeitung innerhalb des Vorkurses weitgehend fremdbestimmt und im Zeitraum beschränkt (den Lernenden steht lediglich ein Nachmittag und der Distanztag zur Bearbeitung der oadL zur Verfügung; siehe Kapitel 4.3). Andere vergleichbare Ergebnisse oder Erkenntnisse zur Initiierung des SRL in Verbindung mit den dispositionellen Ausprägungen Lernender sind in der Literatur kaum zu finden. Gerade die Initiierung stellt jedoch die Grundvoraussetzung für die Nutzung von digitalen Lernangeboten nicht nur als Hilfestellung für das Studium, sondern auch für das lebenslange Lernen dar. Fehlen diese Initiierungsprozesse, können die Lernenden das Potential dieser Angebote kaum ausschöpfen. In Verbindung mit den Abbruchprozessen der Bearbeitung der oadL bieten insbesondere die z. T. bereits erfassten situativ aktivierten Dispositionen die Möglichkeit weiterführender Untersuchungen. So können bspw. die bereits erfassten Emotionen nach der Rückmeldung zu einem Test oder die damit verbundene Attribution des Testergebnisses entscheidend für das Abbruchverhalten der Lernenden sein. Eine zusätzliche Erfassung der situativ aktivierten Dispositionen vor der Aufnahme der Bearbeitung kann möglicherweise Rückschlüsse auf die Ursachen eines Abbruchs oder einer (Wieder-)Aufnahme des Lernens zulassen. Mittels Verhaltensbeobachtungen der Lernenden (z. B. Videoaufzeichnungen der Lernenden bei der Bearbeitung der oadL) könnten zudem die Off-Task-Aktivitäten der Lernenden (zumindest in dem der Arbeit zu Grunde liegenden Setting) erfasst werden. Diese könnten z. T. analog zu dem Bearbeitungsverhalten der Lernenden innerhalb der oadL mittels quantifizierten Werten beschrieben und u. a. mit dem Lernerfolg in Verbindung gesetzt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

SRL gilt nicht nur als eine „fächerübergreifende Schlüsselkompetenz“ für das lebenslange Lernen (Baumert et al., 2000, S. 16), vielmehr kann das SRL als eine Grundvoraussetzung für den schulischen und außerschulischen Wissenserwerb betrachtet werden (vgl. Baumert et al., 2000). Während innerhalb der schulischen Ausbildung das SRL häufig noch durch Lehrkräfte unterstützt wird (bspw. durch moderierte SRL-Phasen und eine entsprechende Auswahl von Inhalten und Anforderungsniveaus von Aufgaben), müssen Studienanfängerinnen und Studienanfänger im Übergang zur universitären Lehre zunehmend eigenständig selbstreguliert lernen. Insbesondere von den Universitäten zur Verfügung gestellte Zusatzangebote zum eigenständigen Lernen außerhalb der Lehrveranstaltungen, wie bspw. digitale Lernumgebungen, stellen Lernende dabei vor große Herausforderungen (Gasevic et al., 2017; Green et al., 2011; Kizilcec et al., 2017; Winters et al., 2008), was sich häufig in nicht persistenter Bearbeitung zeigt (Kizilcec & Halawa, 2015; Scheiter & Gerjets, 2008). Die in den Naturwissenschaften üblichen Lehrformate (aufgabenbasierte Gestaltung von Lernumgebungen; vgl. gängige Lehrbücher u. a. Giancoli, 2010) sowie eine zur Individualisierung der Lernwege offene Gestaltung von digitalen Lernumgebungen erhöhen die Anforderungen an das ohnehin den Lernenden schwerfallende SRL weiter (zsf. Konstons et al., 2012). Um den Problemen der Lernenden zu begegnen und das SRL besser zu verstehen, wurden und werden im Rahmen des DFG-Projekts die „Prozesse der Selbstregulation bei der Bearbeitung einer digitalen aufgabenbasierten Lernumgebung im Physikstudium“ ganzheitlich untersucht.

Eine Reihe von Forschungsarbeiten aus unterschiedlichen Fachgebieten beschäftigt sich bereits seit vielen Jahren mit der Untersuchung des SRL (zsf. Beishuizen & Steffens, 2011; Panadero et al., 2018). Nicht zuletzt existieren daher eine Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen und Operationalisierungen zum SRL. Unter anderem wird das SRL als eine kontextunabhängige Fähigkeit, als ein kontextabhängiger Prozess oder als eine Kompetenz operationalisiert und definiert (vgl. Boekaerts & Corno, 2005; Endedijk et al., 2016; Winne, 2010; Winne & Perry, 2005). Diese verschiedenen Auffassungen können vor dem Hintergrund der Kompetenzauffassung nach Blömeke et al. (2015) als ein Kontinuum miteinander verbunden werden (vgl. Kapitel 2.1). Demnach kann SRL als Kompetenz mit den Facetten der Dispositionen, der situationsspezifischen Fähigkeiten und der Performanz modelliert werden. Unter die Facette der Disposition fällt u. a. das Vorwissen der Lernenden sowie mögliches Strategiewissen. Dieses Vorwissen muss durch situationsspezifische Fähigkeiten im Bearbeitungs-/Lernprozess kontextabhängig und situativ eingesetzt werden

(bspw. die Wahl von zum eigenen Lernstand passenden Inhalten), damit effektive Lern-Handlungen durchgeführt werden können (Facette Performanz; Verhalten während der Bearbeitung). Das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Modell stellt eine Verbindung unterschiedlicher Operationalisierungen und damit einhergehend von Komponenten- und Prozessmodellen her, hat aber auch Beschränkungen. So wird durch das Modell die SRL-Kompetenz ausschließlich linear in einer Dimension beschrieben. Im Gegensatz u. a. zu Kompetenzniveaumodellen oder Learning Progressions (Alonzo & Steedle, 2009) fehlen aktuell Annahmen zur Stufung der SRL-Kompetenz (vgl. dazu u. a. Forschungsprojekte wie das „Pro-SRL-Transfer“ Projekt der Universitäten Augsburg und Wien).

Wesentlicher Bestandteil des SRL und der verschiedenen Facetten sind Lern- und Regulationsstrategien (vgl. Boekaerts, 1996; Pintrich, 2000). Diese können auf einer allgemeinen Ebene stattfinden und z. B. das Setzen von allgemeinen Zielen oder das Notizenmachen beinhalten, sie umfassen jedoch auch fach- oder aufgabenspezifische Vorgehensweisen wie bspw. die Wahl eines Kraft-, Impuls- oder Energieansatzes zur Lösung einer Physikaufgabe (vgl. Pandikow, in Vorbereitung; Pandikow & von Aufschnaiter, 2020). Während in einer Vielzahl von Arbeiten zum SRL Strategien primär zur Beschreibung des SRL betrachtet werden und mittels Fragebögen, Selbstberichten oder Interpretationen von Handlungen der Lernenden erfasst werden (zsf. Dinsmore et al., 2008), bietet die ausschließliche Fokussierung auf die Lern- und Regulationsstrategien die Gefahr der Verzerrung von Ergebnissen. Einerseits entsprechen die von den Lernenden berichteten Strategien nicht ihren tatsächlich beim Lernen genutzten Strategien, andererseits ist eine Interpretation von Handlungen bezüglich möglicherweise genutzter theoretisierter Strategien häufig nicht sehr reliabel oder valide (vgl. Foerst et al., 2017; Hadwin et al., 2007; Maldonado-Mahauad et al., 2018; van Halem et al., 2020). Nicht zuletzt daher wird im vorliegenden Forschungsprojekt der Fokus auf die Dispositionen und die Performanz der Lernenden gelegt, ohne zu versuchen, auf die situative Aktivierung von Lern- und Regulationsstrategien zurückzuschließen.

Bisherige Erkenntnisse zum SRL werden häufig in Verbindung mit linearen, informationsbasierten, digitalen Lernumgebungen erfasst. Vergleichsweise selten werden offen, aufgabenbasierte, digitale Lernumgebungen in den Blick genommen. Dabei entspricht insbesondere die aufgabenbasierte Gestaltung gerade in den Naturwissenschaften gängigen Lehrbüchern und ist im Sinne des Konstruktivismus von großer Bedeutung (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995). Offen gestaltete Lernumgebungen können darüber hinaus einen Beitrag zur Individualisierung des Lernens leisten und damit der Heterogenität von

Lerngruppen gerecht werden. Um das SRL mit einer oadL untersuchen zu können, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine solche Lernumgebung entwickelt. Auf über 700 Seiten können Lernenden Instruktionen und Beispiele lesen sowie Übungsaufgaben und Tests zu verschiedenen Themen der Mechanik ohne Vorgabe einer festen Reihenfolge bearbeiten (siehe Kapitel 4.2). Automatisiert durch die Lernumgebung erfasst werden dabei nicht nur die Navigationsprozesse der Lernenden, sondern darüber hinaus auch die einzelnen Aufgabenlösungen, die Testlösungen, die Selbsteinschätzungen der Lernenden bezüglich ihrer eigenen Lösungen, die Attribution, die Emotion und das Erleben der Lernenden (siehe Kapitel 4.2.2). Der Schwerpunkt der Auswertung lag dabei innerhalb der Arbeit auf der Performanz der Lernenden und der Verbindung von Dispositionen und Lernerfolg sowie Dispositionen, Lernerfolg und Performanz.

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung ist u. a. der Zusammenhang des Lernerfolgs in Verbindung mit der Bearbeitung einer oadL mit dem Vorwissen der Lernenden. Durch das Vorwissen der Lernenden können 40,2 % der Varianz des Lernerfolgs erklärt werden; je weniger Vorwissen die Lernenden haben, desto größer ist der Lernerfolg (für eine Diskussion dieses Ergebnisses siehe Kapitel 6.1.3). Auch wenn dieser Zusammenhang nicht durch die im Rahmen des Forschungsprojektes abgebildeten Performanz der Lernenden erklärt werden kann (siehe Kapitel 6.3), wird bei der Betrachtung der einzelnen Bearbeitungsprozesse u. a. über Lineplots und dem mit der Bearbeitung einhergehenden Lernerfolg die Komplexität des Vorhabens deutlich. Es konnten keine typischen Bearbeitungsprozesse identifiziert werden, die mit hohem Lernerfolg in Verbindung gebracht werden können. Lernende mit großem Lernerfolg zeigen unterschiedliches Verhalten (siehe Kapitel 6.3) oder auch gleiches Verhalten wie Lernende mit geringem oder keinem Lernerfolg. Auch die in dem Forschungsprojekt berechneten Prozessmerkmale zur Quantifizierung der Bearbeitungsprozesse sind von großer Varianz geprägt. Erwartbare Zusammenhänge wie ein Zusammenhang zwischen der Linearität der Bearbeitung der Lernenden und dem Lernerfolg (zsf. Paans et al., 2020) bleiben aus. Es fällt jedoch auf, dass die Lernenden als Gesamtgruppe, trotz der in der Lernumgebung nur relativ kleinen Anzahl an Instruktionen im Vergleich zum Übungsangebot, primär Instruktionen und Beispiele lesen. Zudem navigieren die Lernenden trotz der offenen Gestaltung vorrangig linear durch die oadL (siehe Kapitel 6.3).

Die Ergebnisse und daran unmittelbar anschließende weiterführende Fragen zur Untersuchung von SRL-Prozessen wurden bereits innerhalb der Teilabschnitte des Kapitels 6 diskutiert. Aus einer Vielzahl an Möglichkeiten der Untersuchung übergreifender

weiterführender Fragen werden im Folgenden vier verschiedene Ansätze vorgestellt, die aufgrund ihres übergreifenden Bezugs noch nicht in Kapitel 6 diskutiert wurden.

Einordnung von bisherigen Erkenntnissen basierend auf der modellierten SRL-Kompetenz

Das SRL ist ein vielfach untersuchtes und beforschtes Konstrukt. Durch die Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen und Operationalisierungen des SRL ergeben sich u. a. eine Vielzahl an verschiedenen Erfassungsmethoden, um sich dem SRL sowohl aus reduktionistischer als auch aus holistischer Sicht weiter zu nähern. Ein typischer Zugang zur Erfassung des SRL ist der Einsatz von Fragebögen, in denen retrospektiv selbst eingeschätzt werden soll, welche Lernstrategien in der vorhergegangenen Lernsituation eingesetzt wurden (zsf. Endedijk et al., 2016). Standardisierte Fragebögen sind bspw. der „Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ)“ von Pintrich et al. (1993), der „Lernstrategien im Studium (LIST)“ von Schiefele und Wild (1994) oder der „Learning and Study Strategies Inventory (LASSI)“ von Weinstein (1987). Der ausschließliche Einsatz dieser Fragebögen gerät jedoch zunehmend in Kritik, da retrospektiv eingesetzte Fragebögen keinen Einblick in mögliche Subprozesse des SRL geben (Rovers et al., 2019), nicht die tatsächlich ablaufenden SRL-Prozesse abbilden (Hadwin et al., 2007; Foerst et al., 2017; Maldonado-Mahauad et al., 2018; van Halem et al., 2020) und z. T. keinen Bezug zum Kontext der vergangenen Lernsituation haben (Dinsmore et al., 2008; van Hout-Wolters, 2000). Aus diesem Grund greifen Autorinnen und Autoren immer häufiger auf Verhaltensbeobachtungen, Lehrerinnen- und Lehrerbeurteilungen oder Methoden des Lauten Denkens zurück (zsf. Ededeijk et al., 2016). In Verbindung mit digitalen Lernumgebungen wird die *Trace-Analyse* als neue Methoden immer häufiger genutzt (vgl. van Halem et al., 2020; Winne, 2011). Dabei werden Daten der Lernenden während des Bearbeitungsprozesses gesammelt, ohne dass die Lernenden i. d. R. durch die Erfassung der Daten im Lernen beeinflusst werden (Winne, 2011).

Mit Hilfe der im Theoriekapitel (siehe Kapitel 2) hergestellten Verbindung zwischen dem SRL und der Auffassung der Kompetenz als Kontinuum zwischen Disposition, situations-spezifischen Fähigkeiten und der Performanz von Blömeke et al. (2015) können bisherige Ergebnisse zum SRL eingeordnet werden und in diesem Verständnis neu interpretiert werden. Eine Untersuchung mithilfe von Fragebögen erfasst primär das Wissen der Lernenden über verschiedene Lern- und Regulationsstrategien. Eine Erfassung des SRL über das Verhalten der Lernenden kann der Performanz zugeordnet werden. Die Erfassung von Fähigkeiten während des Bearbeitungsprozesses, bspw. die Selbsteinschätzung von

eigenen Lösungen, kann den situationsspezifischen Fähigkeiten zugeordnet werden. Erkenntnisse, die aus den unterschiedlichen Erfassungsmethoden resultieren, können so im Rahmen des Modells strukturiert geordnet und in Verbindung zueinander gesetzt werden. Zum Beispiel berichten Lernende mit einer höheren SW häufiger innerhalb von Fragebögen von der Nutzung von Strategien zum Zeitmanagement (vgl. Britton & Tesser, 1991). Inwiefern diese Lernende tatsächlich mehr Zeit innerhalb der Lernumgebung verbringen oder ihre Zeit effektiver nutzen, u. a. durch ein geeignetes Pausenmanagement, bleibt dabei ungeklärt. Durch die Feststellungen von Cicchinelli et al. (2018) sowie Bannert et al. (2014), dass Lernende, die mehr Zeit innerhalb der Lernumgebung verbringen, in anschließenden Tests bessere Leistungen zeigen (Zuordnung zur Facette der Performanz), ergeben sich hier bereits weiterführende Fragen der Verbindung dieser Erkenntnisse. So wäre im Rahmen eines ganzheitlichen Verständnisses einer SRL-Kompetenz zu klären, inwiefern ein höheres Wissen über Strategien des Zeitmanagements mit einer möglicherweise auf Dauer persistenteren Bearbeitung der Lernumgebung und damit ggf. höherem Lernerfolg zusammenhängt.

Situationsspezifische Fähigkeiten und situativ aktivierte Dispositionen

Ausgehend von der Kompetenzauffassung nach Blömeke et al. (2015) richtet sich der Fokus der Untersuchung des SRL des Forschungsvorhabens auf die Dispositionen und die Performanz der Lernenden. Zwar werden durch die oadL bereits in Teilen die für die Interpretation von situationsspezifischen Fähigkeiten z. T. notwendigen Bearbeitungsprozesse, Aufgabenlösungen und Einschätzungen erfasst, im Rahmen des Forschungsprojektes jedoch nicht dahingehend ausgewertet. Eine solche Auswertung würde zur Ableitung von situationsspezifischen Fähigkeiten ein großes Potential bieten. Ein Verständnis dieser Fähigkeiten kann nicht nur zu einem umfassenderen Verständnis des SRL beitragen, sondern darüber hinaus auch mit Blick auf die Modellierung der SRL-Kompetenz einen Beitrag zur Verbindung von Dispositionen und Performanz leisten. Dabei können die situationsspezifischen Fähigkeiten aus unterschiedlichen Perspektiven untersucht werden. Aus einer allgemeinen und psychologischen Perspektive sind beim SRL bspw. besonders die allgemeinen Zielsetzungen der Lernenden interessant, da diese direkt mit den Leistungen der Lernenden verbunden werden (zsf. Lee et al., 2019). Eine andere Perspektive auf die situationsspezifischen Fähigkeiten des SRL ist die fachspezifische Perspektive. Hierunter lassen sich z. B. die Wahl von zum eigenen Wissensstand passenden Themen und Aufgaben, die Selbsteinschätzung von eigenen Lösungen im Abgleich mit Musterlösungen oder die aufgabenspezifischen Lösungsstrategien wie die Wahl eines Energie-, Bewegungs- oder Kraftansatzes zur Lösung einer Rechenaufgabe

(vgl. Pandikow, in Vorbereitung) nennen. Insbesondere die Wahl von passenden Themen, Aufgaben und Anforderungen sowie die damit verbundene Selbsteinschätzung eigener Lösungen stellt die Grundlage effektiven Lernens dar und sollte daher als zentrales Element in Untersuchungen aufgenommen werden (vgl. Raaijmakers et al., 2018).

Mit dem Fokus auf die situationsspezifischen Fähigkeiten bietet eine Auswertung der situativ aktivierten Dispositionen („state“-Komponenten einzelner Dispositionen als situativer Zustand z. B. der Motivation oder des Interesses; vgl. Grieder, 2006; Winther, 2006) weiteres Potential zur Aufklärung von SRL-Prozessen. So können bspw. die durch die oadL bereits erfasste Attribution von Testergebnissen und die damit einhergehende Emotion (siehe Kapitel 4.2) mit der Motivation der weiteren Bearbeitung und dem Verhalten der Lernenden u. a. der Wahl von Anforderungsniveaus von Übungsaufgaben verbunden werden. Möglicherweise führt z. B. ein negatives Testergebnis dazu, dass die Lernenden ein niedrigeres Anforderungsniveau für die Bearbeitung weiterer Aufgaben wählen. Zur Vorbereitung solcher Untersuchungen wurden bei der Entwicklung der Lernumgebung bereits Erfassungsinstrumente, u. a. in Anlehnung an die „Experience-Sampling-Method (ESM)“ (Larson & Csikzentmihalyi, 1983) zur Abfrage der Passung und des Erlebens, sowie Attributions- und Emotionsbefragungen integriert (siehe Kapitel 4.2) und zugehörige Daten zu den Bearbeitungsprozessen erfasst. Mit der Auswertung der dabei erhobenen Daten befassen sich die Promotionsvorhaben von Kienitz (in Vorbereitung) und Weckler (in Vorbereitung). Während sich Kienitz aus einer allgemeinen psychologischen Sicht insbesondere mit der Zielsetzung vor und während dem SRL befasst und sich dem SRL nähert, betrachtet Weckler die Bearbeitungsprozesse auf Meso- und Mikroebene aus fachlicher Perspektive.

Kompetenzentwicklung

Die häufig in der Literatur geforderte Verbindung des SRL mit dem jeweiligen Fachinhalt (vgl. Dinsmore et al., 2008; Loyens et al., 2008; Winther, 2008) bietet insbesondere unter dem Aspekt der Kompetenzentwicklung großes Potential. So wird in bisherigen Arbeiten der Fokus in der Regel auf die Kompetenzentwicklung der SRL-Kompetenz (vgl. Raaijmakers et al., 2018; Wong et al., 2019), nicht jedoch auf die fachinhaltliche oder fachmethodische Kompetenzentwicklung während des SRL gelegt. Die von Alonzo und Steedle (2009) entwickelten Learning Progressions sowie die von Vorholzer und von Aufschnaiter (2020) beschriebenen Dimensionen und Ausprägungen fachinhaltlicher Kompetenz brechen die dichotome Betrachtung eines „falsch-richtig“ Denkens bezüglich dieser auf und erlauben differenzierte Einschätzungen zur Graduierung von Kompetenz.

Gerade diese differenzierte Betrachtungsweise erlaubt es u. a., die Entwicklung fachinhaltlicher Kompetenz zu verfolgen. Mit Hilfe eines Abgleichs zwischen den Lerninhalten in der oadL und einer inhaltlichen Betrachtung des Lernerfolgs der Lernenden über einen längeren Zeitraum, können detaillierte Erkenntnisse zum Aufbau von fachinhaltlicher Kompetenz und der Effektivität des SRL entstehen.

Auswertungsmethoden

Die im Rahmen dieser Arbeit berichteten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Gruppe der Lernenden als Ganzes. Ein Versuch der auf einzelne Individuen fokussierten Auswertung der Performanz durch „Process Mining“ und damit verbundene Methoden der Clusteranalyse von Prozessen bspw. dem „Comparative Process Mining“ (CPM) konnte nur für eine Visualisierung von Lineplots (siehe Kapitel 6.3) implementiert werden. Der Fokus des CPM liegt dabei auf dem Finden von Unterschieden und Gemeinsamkeiten in quantifizierten Datensätzen und kann u. a. dazu genutzt werden, unterschiedliche Verhaltensweisen von Lernenden basierend auf diesen quantifizierten Daten automatisiert zu identifizieren. Dabei werden beim CPM Muster mehrere Datensätze (u. a. Navigationsprozesse verschiedener Lernender) miteinander vergleichen.

Während u. a. Gasevic et al. (2017) über Sequenzen hinweg die Verhaltensweisen von Lernenden innerhalb einer digitalen Lernumgebung vergleichen, bietet die für das vorliegende Projekt programmierte Lernumgebung (oadL) eine weitaus umfassendere Möglichkeit der Navigation. Ein Vergleich verschiedener Sequenzen konnte in dieser Arbeit bisher nur nach kategorialer Zusammenfassung und unter Ausschluss einer Reihe von Aktionen der Lernenden innerhalb der Lernumgebung durchgeführt werden. Die für den Vergleich der Performanz aufbereiteten Bearbeitungsprozesse mussten jedoch so sehr verdichtet werden, dass die reale Performanz der Lernenden nicht mehr vollständig abgebildet werden konnte. In Anbetracht der geforderten Auswertung auf individueller Ebene sowie auf Mikro- und Mesoebene und der Verbindung der Performanz mit dem Lernerfolg schien es deshalb nicht sinnvoll, diesen Ansatz weiter zu verfolgen. Die Auswertungsmethode selbst bietet jedoch großes Potential. Zwar konnten innerhalb des Forschungsprojektes einerseits aufgrund der geringen Probandenzahl, andererseits aufgrund der Vielzahl an Navigationsmöglichkeiten innerhalb der oadL keine Erkenntnisse durch eine solche Auswertung gewonnen werden, dennoch sollte dieser Auswertungsansatz nicht verworfen werden. Mit einer Ausweitung des Samples und einer längeren Bearbeitungszeit (im Vorkurs stand den Lernenden die Lernumgebung nur drei Tage zur Bearbeitung zur Verfügung; siehe Kapitel 4.3) könnte der zu analysierende

Datensatz vergrößert werden. „Process Mining“ und darin insbesondere das CPM sind dann nicht nur möglich, sondern bei einem großen Datensatz auch notwendig, um einen Überblick über die Vielzahl von Prozessdaten zu erhalten und diese auswerten zu können. Darüber hinaus bieten Methoden wie das „Predictive Process Mining“ im Rahmen eines auf Bearbeitungsdaten basierenden Modells die Möglichkeit, Vorhersagen über zukünftiges Verhalten zu treffen. Es können dann auch Unterstützungsmaßnahmen wie das „Scaffolding“ (vgl. Winters et al., 2008; Wong et al., 2019) automatisiert innerhalb von digitalen Lernumgebungen umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- Abar, B., & Loken, E. (2010). Self-regulated learning and self-directed study in a pre-college sample. *Learning and Individual Differences, 20*(1), S. 25–29.
- Ainley, M., Hidi, S., & Berndorff, D. (2002). Interest, learning and the psychological processes that mediate their relationship. *Journal of Educational Psychology, 94*(3), S. 545–561.
- Alonzo, A. C., & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education, 93*(3), S. 389–421.
- Ames, C., & Archer, J. (1988). Achievement goals in the classroom: Students' learning strategies and motivation processes. *Journal of Educational Psychology, 80*(3), S. 260–267.
- Arnold, P., Kilian, L., Thillosen, A., & Zimmer, G. (2013). *Handbuch E-Learning. Lehren und Lernen mit digitalen Medien*. Wbv Publikation.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Waxmann.
- Artino, A. R., & Jones, K. D. (2012). Exploring the complex relations between achievement emotions and self-regulated learning behaviors in online learning. *Internet and Higher Education, 15*, S. 170–175.
- Atkinson, R. A., Derry, S. J., Renkl, A., & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research, 70*, S. 181–214.
- Azevedo, R. (2009). Theoretical, conceptual, methodological, and instructional issues in research on metacognition and self-regulated learning: A discussion. *Metacognition Learning, 4*(1), S. 87–95.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., & Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology, 29*(3), 344–370.
- Azevedo, R., Green, J. A., & Moos, D. C. (2007). The effect of a human agent's external regulation upon college students' hypermedia learning. *Metacognition and Learning, 2*(2), 67–87.
- Bandura, A. (1977). Self-Efficacy: Towards a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review, 84*(2), S. 191–215.
- Bandura, A. (1986). *Social foundation of thought and action*. Prentice-Hall.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. Freeman.
- Banerjee, A. V., & Duflo, E. (2014). (Dis)Organization and success in an economics MOOC. *American Economic Review, 104*(5), S. 514–518.
- Bannert, M., Reimann, P., & Sonnenberg, C. (2014). Process mining techniques for analysing patterns and strategies in students' self-regulated learning. *Metacognition and Learning, 9*(2), S. 161–185.

- Barab, S. A., Bowdish, B. E., & Lawless, K. A. (1997). Hypermedia navigation: Profiles of hypermedia users. *Educational Technology Research and Development*, 35, S. 23–41.
- Barnard-Brak, L., Osland Paton, V., & Lan, W. Y. (2010). Profiles in self-regulated learning in the online learning environment. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, 11(1), S. 61–80.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J., Weiß, M. (2001). *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Leske und Budrich.
- Bausch, I., Biehler, R., Bruder, R., Fischer, P. R., Hochmuth, R., Koepf, W., Schreiber, S., Wassong, T. (2014). *Mathematische Vor- und Brückenkurse. Konzepte, Probleme und Perspektiven*. Springer.
- Bawa, P. (2016). Retention in online courses: Exploring issues and solutions – A literature review. *SAGE Open*, 6(1), S. 1–11.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: Exploring the brain* (3. Auflage). Lippincott Williams & Wilkins.
- Beheshitha, S. S., Gasevic, D., & Hatala, M. (2015). *A process mining approach to linking the study of aptitude and event facets of self-regulated learning* [Konferenzbeitrag]. LAK '15: The 5th International Learning Analytics and Knowledge Conference, Poughkeepsie. http://www.sfu.ca/~dgasevic/papers_shared/lak15pm.pdf
- Beishuizen, J., & Steffens, K. (2011). A conceptual framework for research on self-regulated learning. In R. Carneiro, P. Lefrere, K. Steffens, & J. Underwood, *Self-regulated learning in technology enhanced learning environments* (S. 3–19). Sense Publishers.
- Bjork, R. A., Dunlosky, J., & Kornell, N. (2013). Self-regulated learning: Beliefs, techniques, and illusions. *Annual Review of Psychology*, 64, S. 417–444.
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), S. 3–13.
- Boekaerts, M. (1996). Self-regulated learning at the junction of cognition and motivation. *European Psychologist*, 1(2), S. 100–112.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7(2), S. 161–186.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, S. 445–457.
- Boekaerts, M., & Corno, L. (2005). Self-regulation in the classroom: A perspective on assessment and intervention. *Applied Psychology*, 54(2), S. 199–231.
- Boelens, R., de Wever, B., & Voet, M. (2017). Four key challenges to the design of blended learning: A systematic literature review. *Educational Research Review*, 22, S. 1–18.
- Bong, M., & Skaalvik, E. M. (2003). Academic self-concept and self-efficacy: How different are they really? *Educational Psychology Review*, 15(1), S. 1–40.

- Boone, W. J., Staver, J., & Yale, M. S. (2014). *Rasch analysis in the human science*. Springer.
- Borkowski, J. G., Chan, L. K., & Muthukrishna, N. (2000). A process-oriented model of metacognition: Links between motivation and executive functioning. In G. Schraw, & J. C. Impara, *Issues in the measurement of metacognition* (S. 1–41). Buros Institute of Mental Measurements.
- Brebeck, I. (2014). *Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie*. Logos.
- Breker, T. A. (2016). *Fähigkeitsselbstkonzept, Selbstwirksamkeit & Mindset – Wie können Lehrkräfte Erkenntnisse aus der Sozial-Kognitiven-Psychologie nutzen, um die Potenzialentfaltung von Schülerinnen und Schülern zu fördern?*. Europa-Universität Viadrina.
- Brenstein, E. (1996). *Untersuchungsmöglichkeiten von Lernverhalten in hypermedialen Lernumgebungen*. Universität Potsdam.
- Brent, E. J., Baker, R. B., & Dee, T. S. (2016). Persistence patterns in massive open online courses (MOOCs). *The Journal of Higher Education*, 87(2), S. 206–242.
- Britton, B. K., & Tesser, A. (1991). Effect of time-management practices on college grades. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), S. 405–410.
- Broadbent, J. (2017). Comparing online and blended learner's self-regulated learning strategies and academic performance. *Internet and Higher Education*, 33, S. 24–32.
- Broadbent, J., & Poon, W. L. (2015). Self-regulated learning strategies & academic achievement in online higher education learning environments: A systematic review. *Internet and Higher Education*, 27, S. 1–13.
- Brown, J. D. (1993). Self-esteem and self-evaluation: Feeling is believing. In J. Suls, *Psychological perspective on the self* (S. 27–58). Erlbaum.
- Buccheri, G., Gürber, N. A., & Brühwiler, C. (2011). The impact of gender on interest in science topics and the choice of scientific and technical vocations. *International Journal of Science Education*, 33(1), S. 159–178.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2021). *Digitalisierung in Deutschland – Lehren aus der Corona-Krise*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E. (1982). A perspective on the differences between expert and novice performance in solving physics. *Australian Science Education Research Association* 12, S. 71–77.
- Chen, S. Y., & Macredie, R. (2010). Web-based interaction: A review of three important human factors. *International Journal of Information Management*, 30, S. 379–387.
- Cicchinelli, A., Veas, E. E., Pardo, A., Pammer-Schindler, V., Fessler, A., Lindstädt, S., & Barreiros, C. (2018). *Finding traces of self-regulated learning in activity* [Konferenzbeitrag]. LAK '18: The 8th International Learning Analytics and Knowledge Conference, Sidney. <https://doi.org/10.1145/3170358.3170381>
- Cleary, T. J., & Zimmerman, B. J. (2001). Self-regulation differences during athletic practice by experts, non-experts, and novices. *Journal of Applied Sportpsychology*, 13, S. 185–206.

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Corbalan, G., Kester, L., & van Merriënboer, J. (2008). Selecting learning tasks: Effects of adaptation and shared control on learning efficiency and task involvement. *Contemporary Educational Psychology, 33*(4), S. 733–756.
- Crocker, J., & Wolfe, C. T. (2001). Contingencies of self-worth. *Psychological Review, 108*, S. 593–623.
- Csikszentmihalyi, M., & Schiefele, U. (1993). Die Qualität des Erlebens und der Prozess des Lernens. *Zeitschrift für Pädagogik, 39*(2), S. 207–221.
- Dörrenbächer, L., & Perels, F. (2016). Self-regulated learning profiles in college students: Their relationship to achievement, personality, and the effectiveness of an intervention to foster self-regulated learning. *Learning and Individual Differences, 51*, S. 229–241.
- Dansereau, D. F. (1985). Learning strategy research. In J. W. Segal, S. F. Chipman, & R. Glaser, *Thinking and learning Skills* (S. 209–240). Routledge.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1995). Human autonomy. In H. Kernis, *Efficacy, agency, and self-esteem* (S. 31–49). Springer.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits. Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry, 11*(4), S. 227–268.
- DiBenedetto, M., & Zimmermann, B. J. (2010). Differences in self-regulatory processes among students studying science: A microanalytic investigation. *The International Journal of Educational and Psychological Assessment, 5*(1), S. 2–24.
- Dickhäuser, O. (2001). *Computernutzung und Geschlecht*. Waxmann.
- Dickhäuser, O., & Stiensmeier-Pelster, J. (2003). Wahrgenommene Lehrereinschätzungen und das Fähigkeitsselfkonzept von Jungen und Mädchen in der Grundschule. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 50*(2), S. 182–190.
- Dignath, C., Buettner, G., & Langfeld, H.-P. (2008). How can primary school students learn self-regulated learning strategies most effectively? A meta-analysis on self-regulation learning programmes. *Educational Research Review, 3*(2), S. 101–129.
- Dina, N. Z., & Marjanto, R. S. (2020). Discovering students navigation patterns in learning management system. *Espacios, 41*(4), S. 16–29.
- Dinsmore, D. L., Alexander, P. A., & Loughlin, S. M. (2008). Focusing the conceptual lens on metacognition, self-regulation, and self-regulated learning. *Educational Psychology Review, 20*, S. 391–409.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest, 14*(1), S. 5–58.
- Dunnett, C. W. (1980). Pairwise multiple comparisons in the unequal variance case. *Journal of the American Statistical Association, 75*, S. 796–800.
- Dunning, D., Heath, C., & Suls, J. M. (2004). Flawed self-assessment. *Psychological Science in the Public Interest, 5*(3), S. 69–106.

- Dunning, D., Johnson, K., Ehrlinger, J., & Kruger, J. (2003). Why people fail to recognize their own incompetence. *Current Directions in Psychological Science*, 12, S. 83–87.
- Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95, S. 256–273.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, S. 109–132.
- Efklides, A. (2011). Interactions of metacognition with motivation and affect in self-regulated learning: The MASRL model. *Educational Psychologist*, 46(1), S. 6–25.
- Efklides, A., Schwartz, B. L., & Brown, V. (2018). Motivation and affect in self-regulated learning: Does metacognition play a role? In D. H. Schunk, & J. A. Greene, *Handbook of self-regulation of learning and performance* (S. 64–82). Routledge.
- Eitel, A. (2016). How repeated studying and testing affects multimedia learning: Evidence for adaptation to task demands. *Learning and Instructions*, 41, S. 70–84.
- Eitel, A., & Kornmann, J. (2014). *Schwieriger als gedacht?! Potenziale und Risiken des Lernens mit digitalen Medien*. The Inquisitive Mind. <https://de.in-mind.org/article/schwieriger-als-gedacht-potenziale-und-risiken-des-lernens-mit-digitalen-medien>
- Elliot, A. J., & Dweck, C. S. (2005). *Handbook of competence and motivation*. Guilford Publications.
- Elliott, E. S., & Dweck, C. S. (1988). Goals: An approach to motivation and achievement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(1), S. 5–12.
- Elshout, J. J. (1987). Problem-solving and education. In E. De Corte, H. Lodewijks, & R. Parmentier, *Learning & instruction: European research in an international context* (S. 259–273). Pergamon Press.
- Endedijk, M. D., Brekelmans, M., Slegers, P., & Vermunt, J. D. (2016). Measuring students' self-regulated learning in professional education: Bridging the gap between event and aptitude measurements. *Quality & Quantity*, 50, S. 2141–2164.
- Ene, E., & Ackerson, B. J. (2015). Assessing learning in small sized physics courses. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), S. 1–18.
- Ferla, J., Valcke, M., & Cai, Y. (2009). Academic self-efficacy and academic self-concept: Reconsidering structural relationships. *Learning and Individual Differences*, 19, S. 499–505.
- Field, A. P., & Hole, G. (2003). *How to design and report experiments*. Sage Publications.
- Finkenberg, F., & Trefzger, T. (2019). Umgedrehter Unterricht – Flipped Classroom als Methode im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25, S. 77–95.
- Fischer, H. E., & Draxler, D. (2001). Aufgaben und naturwissenschaftlicher Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 54(7), S. 388–393.
- Foerst, N. M., Klug, J., Jösti, G., Spiel, C., & Schober, B. (2017). Knowledge vs. action: Discrepancies in university students' knowledge about and self-reported use of self-regulated learning strategies. *Frontiers in Psychology*, 8, Artikel 1288.

- Ford, N., & Chen, S. Y. (2000). Individual differences, hypermedia navigation and learning: An empirical study. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 9(4), S. 281–312.
- Frenzel, A. C., Götz, T., & Pekrun, R. (2015). Emotionen. In E. Wild, & J. Möller, *Pädagogische Psychologie* (S. 205–232). Springer.
- Friedrich, H. F., & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien - ein Problemaufriß. In H. Mandl, & F. H. Felix, *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention*. (S. 3–54). Hogrefe.
- Friedrich, H. F., & Mandl, H. (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Hogrefe.
- Gasevic, D., Jovanovic, J., Pardo, A., & Dawson, A. (2017). Detecting learning strategies with analytics: Links with self-reported measures and academic performance. *Journal of Learning Analytics*, 4(2), S. 113–128.
- Gasevic, D., Kovanovic, V., Joksimovic, S., & Siemens, G. (2014). Where is research on massive open online courses headed? A data analysis of the MOOC research initiative. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 15, S. 134–176.
- Gendolla, G. H. (2003). Mood effects on effort mobilization in learning: Theory and experimental evidence. In P. Maring, & C. von Rhöneck, *Learning emotions: The influence of affective factors on classroom learning* (S. 29–46). Peter Lang.
- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, S. 867–888.
- Giancoli, D. C. (2010). *Giancoli Physik*. Pearson Studium.
- Graf, S., Liu, T.-C., & Kinshuk, I. A. (2010). Analysis of learners' navigational behaviour and their learning styles in an online course. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(2), S. 116–131.
- Gravill, J., & Compeau, D. (2008). Self-regulated learning strategies and software training. *Information & Management*, 45, S. 288–296.
- Green, J. A., Moos, D. C., & Azevedo, R. (2011). Self-regulation of learning with computer-based learning environments. *New Directions for Teaching and Learning*, 2011(126), S. 107–115.
- Grieder, S. K. (2006). *Emotionen von Berufsschülern beim selbstregulierten Lernen* (Dissertation, Universität Basel). Universität Basel. https://edoc.unibas.ch/45111/DissB_7618.pdf
- Haak, I. (2016) Was macht eine gute Übung aus? Ein Vergleich von Vorstellungen zum physikalischen Übungsbetrieb. *Die Hochschullehre*, 2, S. 1–25
- Hänze, M. (2003). Productive functions of emotions in classroom learning. In P. Mayring, & C. von Rhöneck, *Learning emotion: The influence of affective factors on classroom learning* (S. 185–194). Peter Lang.
- Hadwin, A. F., Järvelä, S., & Miller, M. (2011). Self-regulated, co-regulated, and socially shared regulation of learning. In B. J. Zimmerman, & D. H. Schunk, *Handbook of self-regulation of learning and performance* (S. 65–84). Routledge/Taylor & Francis Group.

- Hadwin, A. F., Nesbit, J. C., Jamieson-Noel, D., Code, J., & Winne, P. H. (2007). Examining trace data to explore self-regulated learning. *Metacognition and Learning*, 2(2), S. 107–124.
- Hadwin, A. F., Winne, P. H., Stockley, D., & Nesbit, J. C. (2001). Context moderates students' self-reports about how they study. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), S. 477–487.
- Hansford, B. C., & Hattie, J. A. (1982). The Relationship between self and achievement/performance measures. *Review of Educational Research*, 52(1), S. 123–142.
- Hascher, T. (2005). Emotionen im Schulalltag: Wirkungen und Regulationsformen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 51(5), S. 610–625.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Hayes, A. F. (2017). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach*. Guilford Press.
- Helmke, A. (1993). Die Entwicklung der Lernfreude vom Kindergarten bis zur 5. Klassenstufe. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 7(2), S. 77–86.
- Helmke, A., & van Aken, M. A. (1995). The causal ordering of academic achievement and self-concept of ability during elementary school: A longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 87(4), S. 624–637.
- Herfter, C., Grüneberg, T., & Knopf, A. (2015). Der Abbruch des Lehramtsstudiums – Zahlen, Gründe und Emotionserleben. *Zeitschrift für Evaluation*, 14(1), S. 57–82.
- Heublein, U., & Schmelzer, R. (2018). *Die Entwicklung der Studienabbruchquote an den deutschen Hochschulen. Berechnungen auf Basis des Absolventenjahrgangs 2016*. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung.
- Heublein, U., Hutsch, C., & Schmelzer, R. (2022). Die Entwicklung der Studienabbruchquote in Deutschland. *DZHW Brief*. DZHW.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41, S. 111–127.
- Hoskins, S. L., & van Hooff, J. C. (2005). Motivation and ability. Which students use online learning and what influence does it have on their achievement? *British Journal of Educational Technology*, 36(2), S. 177–192.
- Huang, C. (2012). Discriminant and criterion-related validity of achievement goals in predicting academic achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 104, S. 48–73.
- Hulleman, C. S., Schrager, S. M., Bodmann, S. M., & Harackiewicz, J. M. (2010). A meta-analytic review of achievement goal measures: Different labels for the same construct or different constructs with similar labels? *Psychological Bulletin*, 136, S. 422–449.
- Iske, S. (2008). Hypertext, E-Learning und Web-Didaktik. In H. Macha, *Handbuch der Erziehungswissenschaften*. Schöningh.

- Jerusalem, M., & Pekrun, R. (1999). *Emotion, Motivation und Leistung*. Hogrefe.
- Jerusalem, M., & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer, & M. Jerusalem, *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen* (S. 15–18). Freie Universität.
- Jordan, K. (2015). *MOOC completion rates: The data*. <http://katyjordan.com/MOOCproject.html>
- Just, A. M. (in Vorbereitung). *Effects of conceptual and contextual task characteristics on the activation of students' conceptions in newtonian mechanics*. (Dissertation am Fachbereich 07 der Justus-Liebig-Universität Gießen).
- Just, A. M., & von Aufschnaiter, C. (2020). *Differenzierender Schülervorstellungstest zur Mechanik* [Konferenzbeitrag]. GDCP Jahrestagung, Wien. <https://gdcp-ev.de/blog/2020/01/28/differenzierender-schuelervorstellungstest-zur-mechanik/>
- Just, A. M., Vorholzer, A., & von Aufschnaiter, C. (2023). Employing a force and motion learning progression to investigate the relationship between task characteristics and students' conceptions at different levels of sophistication. *Education Sciences*, 13(5), Artikel 444.
- Kühn, S. M. (2011). Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im naturwissenschaftlichen Unterricht der gymnasialen Oberstufe und im Abitur. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, S. 35–55.
- Kernis, M. H. (2002). Self-esteem as a multifaced construct. In T. M. Brinthaupt, & R. P. Lipka, *Understanding early adolescent self and identity. Applications and interventions*. State University of New York Press.
- Kernis, M. H. (2003). Toward a conceptualization of optimal self-esteem. *Psychological Inquiry*, 14(1), S. 1–26.
- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik*. De Gruyter Oldenbourg.
- Khalidi, A., Bouzidi, R., & Nader, F. (2023). Gamification of e-learning in higher education: A systematic literature review. *Smat Learning Environments*, 10, Artikel 10.
- Kienitz, A. (in Vorbereitung). (Dissertation am Fachbereich 03 der Justus-Liebig-Universität Gießen).
- Kirby, J. R. (1988). Style, strategie and skill in reading. In R. R. Schmeck, *Learning strategies and learning styles* (S. 229–274). Plenum Press.
- Kizilcec, R. F., & Halawa, S. (2015). *Attrition and achievement gaps in online learning* [Konferenzbeitrag]. Second ACM Conference on Learning @ Scale, Vancouver. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2724660.2724680>
- Kizilcec, R. F., Perez-Sanagustin, M., & Maldonado, J. J. (2017). Self-regulated learning strategies predict learner behavior and goal attainment in massive open online courses. *Computers & Education*, 104, S. 28–33.
- Klauer, K. J. (1988). Teaching for learning-to-learn: A critical appraisal with some proposals. *Instructional Science*, 17(4), S. 351–367.
- Kleimann, B., & Wannemacher, K. (2004). *E-Learning an deutschen Hochschulen. Von der Projektentwicklung zur nachhaltigen Implementierung*. HIS GmbH.

- Koedinger, K. R., McLaughlin, E. A., Kim, J., Jia, J. Z., & Bier, N. L. (2015). *Learning is not a spectator sport: Doing is better than watching for learning from a MOOC* [Konferenzbeitrag]. Second ACM Conference on Learning @ Scale, Vancouver. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2724660.2724681>
- Kostons, D., van Gog, T., & Paas, F. (2012). Training self-assessment and task-selection skills: A cognitive approach to improving self-regulated learning. *Learning and Instruction, 22*(2), S. 121–132.
- Krapp, A. (1992). Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In A. Krapp, *Interesse, Lernen und Leistung* (S. 9–52). Aschendorff.
- Krapp, A. (1993). Lernstrategien: Konzepte, Methoden und Befunde. *Unterrichtswissenschaft, 21*(4), S. 291–311.
- Krapp, A. (1999). Interest, motivation and learning: An educational-psychological perspective. *European Journal of Psychology of Education, 14*, S. 23–40.
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-test and ANOVAs. *Frontiers in Psychology, 4*, Artikel 863
- Larsen, R. J., & Prizmic, Z. (2004). Affect regulation. In R. F. Baumeister, & K. D. Vohs, *Handbook of self-regulation* (S. 40–61). The Guilford Press.
- Larson, R., & Csikszentmihalyi, M. (2014). The experience sampling method. In M. Csikszentmihalyi, *Flow and the foundations of positive psychology* (S. 21–34). Springer.
- Laukemann, M., & von Rhöneck, C. (2003). The influence of emotional factors on learning in physics instruction. In P. Mayring, & C. von Rhöneck, *Learning emotions* (S. 67–80). Lang.
- Lawanto, O., Santoso, H. B., Lawanto, K. N., & Goodridge, W. (2014). Self-regulated learning skills and online activities between higher and lower performers on a web-intensive undergraduate engineering course. *Journal of Educators Online, 11*(3).
- Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaption*. Oxford University Press.
- Lee, D., Lee Watson, S., & Watson, W. R. (2020). The relationships between self-efficacy, task value, and self-regulated learning strategies in massive open online courses. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 21*(1), S. 23–39.
- Lee, Y., Choi, J., & Kim, T. (2013). Discriminating factors between completers of and dropouts from online learning courses. *British Journal of Educational Technology, 44*(2), S. 328–337.
- Leopold, C., & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern. *Zeitschrift für Pädagogik, 45*(45), S. 240–258.
- Leutner, D. (2002). The fuzzy relationship of intelligence and problem solving in computer simulations. *Computers in Human Behavior, 18*(6), S. 685–697.
- Levy, Y. (2007). Comparing dropouts and persistence in e-learning courses. *Computers & Education, 48*(2), S. 185–204.
-

- Li, L. Y., & Tsai, C. C. (o. D.). Accessing online learning material: Quantitative behavior patterns and their effects on motivation and learning performance. *Computers & Education*, 114, S. 286–297.
- Linacre, J. M. (2014). *Winsteps Rasch measurement*. Winsteps. <https://www.winsteps.com/linacre.htm>
- Littlejohn, A., Hood, C., & Mustain, P. (2016). Learning in MOOCs: Motivations and self-regulated learning in MOOCs. *Internet and Higher Education*, 29, S. 40–48.
- Loyens, S. M., Magda, J., & Rikers, R. M. (2008). Self-directed learning in problem-based learning and its relationship with self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20, S. 411–427.
- Möller, J., & Trautwein, U. (2009). Selbstkonzept. In E. Wild, & J. Möller, *Pädagogische Psychologie* (S. 179–203). Springer.
- Möller, J., Streblow, L., & Pohlmann, B. (2009). Achievement and self-concept of students with learning disabilities. *Social Psychology of Education*, 12, S. 113–122.
- MacGregor, K. S. (1999). Hypermedia navigation profiles: Cognitive characteristics and information processing strategies. *Journal of Educational Computing Research*, 20(2), S. 189–206.
- Maldonado-Mahauad, J., Pèrez-Sanagustín, M., Kizilcec, R. F., Morales, N., & Muñoz-Gama, J. (2018). Mining theory-based patterns from big-data: Identifying self-regulated learning strategies in massive open online courses. *Computers in Human Behavior*, 80, S. 179–196.
- Malmivuori, M. (2006). Affect and self-regulation. *Educational Studies in Mathematics*, S. 149–164.
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press.
- McCann, E. J., & Turner, J. E. (2004). Increasing student learning through volitional control. *Teachers College Record*, 106, S. 1695–1714.
- Meece, J. L., Hoyle, R. H., & Blumenfeld, P. C. (1988). Students' goal orientations and cognitive engagement in classroom activities. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), S. 514–523.
- Middleton, M. J., & Midgley, C. (1997). Avoiding the demonstration of lack of ability: An underexplored aspect of goal theory. *Journal of Educational Psychology*, 89(4), S. 710–718.
- Miller, R. B., Behrens, J. T., Greene, B., & Newman, D. (1993). Goals and perceived ability: Impact on student valuing, self-regulation and persistence. *Contemporary Educational Psychology*, 18, S. 2–14.
- Moos, D. C., & Azevedo, R. (2008a). Exploring the fluctuation of motivation and use of self-regulatory processes during learning with hypermedia. *Instructional Science*, 36(3), S. 203–231.
- Moos, D. C., & Azevedo, R. (2008b). Self-regulated learning with hypermedia: The role of prior domain knowledge. *Contemporary Educational Psychology*, 33(2), S. 270–298.

- Nenninger, P., Straka, G. A., Spevacek, G., & Wosnitza, M. (1996). Die Bedeutung motivationaler Einflussfaktoren für selbstgesteuertes Lernen. *Unterrichtswissenschaft, 24*(3), S. 250–266.
- Neroni, J., Meijs, C., Leontjevas, R., Kirschner, P. A., & DeGroot, R. H. (2018). Goal orientation and academic performance in adult distance education. *International Review of Research in Open and Distributed Learning, 19*(2), S. 192–208.
- Neuville, S., Frenay, M., & Bourgeois, E. (2007). Task value, self-efficacy and goal orientations: Impact on self-regulated learning, choice and performance among university students. *Psychologica Belgica, 47*(1), S. 95–117.
- Nicholls, J., Patashnick, M., & Nolen, S. B. (1985). Adolescents' theories of education. *Journal of Educational Psychology, 77*, S. 683–692.
- Nolan, S. B. (1988). Reasons for studying: Motivational orientations and study strategies. *Cognition and Instruction, 5*(4), S. 269–287.
- Onah, D., Sinclair, J., & Boyatt, R. (2014). *Dropout rates of massive open online Courses: Behavioural Patterns* [Konferenzbeitrag]. 6th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona. <https://www.semanticscholar.org/paper/Dropout-rates-of-massive-open-online-courses-%3A-Onah-Sinclair/6f6e9e3ea887b4042b117d0dbc4a4fa7c41e151c>
- Opelt, F., & Schwinger, M. (2017). Selbstwertkontingenz im Studium. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 49*(3), S. 152–163.
- Paans, C., Molenaar, I., Segers, E., & Verhoeven, L. (2020). Children's macro-level navigation patterns in hypermedia and their relation with task structure and learning outcomes. *Frontline Learning Research, 8*(1), S. 76–95.
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology, 8*, Artikel 422.
- Panadero, E., Andrade, H., & Brookhart, S. (2018). Fusing self-regulated learning and formative assessment: A roadmap of where we are, how we got here, and where we are going. *The Australasian Educational Researcher, 45*(1), S. 12–31.
- Pandikow, N., & von Aufschnaiter, C. (2020). *Studentische Vorgehensweise bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben* [Konferenzbeitrag]. GDGP Jahrestagung, Wien. https://www.pedocs.de/volltexte/2020/20445/pdf/Habig_2020_Naturwissenschaftliche_Kompetenzen_in_der_Gesellschaft.pdf
- Pandikow, N. (in Vorbereitung). *Herausforderungen Studierender bei der Identifizierung von physikalischen Lösungsansätzen in Rechenaufgaben zur Mechanik*. (Dissertation am Fachbereich 07 der Justus-Liebig-Universität Gießen).
- Pardo, A., Han, F., & Ellis, R. A. (2017). Combining university student self-regulated learning indicators and engagement with online learning events to predict academic performance. *IEEE Transaction on Education, 10*(1), S. 82–92.
- Patterson, B., & McFadden, C. (2009). Attrition in online and campus degree programs. *Online Journal of Distance Learning Administration, 12*(2), S. 1–9.
- Paulhus, D. L. (1991). Measurement and control of response bias. In J. P. Robinson, P. R. Shaver, & L. S. Wrightsman, *Measure of personality and social psychological attitudes* (S. 17–59). Academic Press.

- Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2014). Introduction to emotions in education. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-Garcia, *International handbook of emotions in education* (S. 1–10). Routledge/Taylor & Francis Group.
- Pekrun, R., Götz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program to qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, 37(2), S. 91–105.
- Pentecost, T. C., & Barbera, J. (2013). Measuring learning gains in chemical education: A comparison of two methods. *Peer Reviewed Articles* 28, S. 839–845.
- Perels, F., & Dörrenbächer, L. (2018). Selbstreguliertes Lernen und (technologiebasierte) Bildungsmedien. In H. Niegemann, & A. Weinberger, *Handbuch Bildungstechnologien* (S.81–92). Springer.
- Pintrich, P. R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, S. 459–470.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner, *Handbook of self-regulation* (S. 451–502). Academic Press.
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), S. 33–40.
- Pintrich, P. R., & Garcia, T. (1991). Self-regulated learning in college students: Knowledge, strategies, and motivation. In P. R. Pintrich, D. Brown, & C. E. Weinstein, *Student motivation, cognition, and learning* (S. 371–402). Routledge.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), S. 167–199.
- Planinic, M., Boone, W. J., Susac, A., & Ivanjek, L. (2019). Rasch Analysis in physics Education Research: Why measurement matters. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), Artikel 20111.
- Prediger, S., & von Aufschnaiter, C. (2017). Umgang mit heterogenen Lernvoraussetzungen aus fachdidaktischer Perspektive: Fachspezifische Anforderungs- und Lernstufungen berücksichtigen. In T. Bohl, J. Budde, & M. Rieger-Ladich, *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht* (S. 291–307). Klinkhardt.
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolf, H.-G., Rost, J., Schiefele, U. (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstandard der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Waxmann.
- Prenzel, M., Krapp, A., & Schiefele, U. (1986). Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32(2), S. 163–173.
- Puustinen, M., & Pulkkinen, L. (2001). Models of self-regulated learning: A review. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 45(3), S. 269–286.
- Raaheim, K. (1988). Intelligence and task novelty. In R. J. Sternberg, *Advances in the psychology of human intelligence* (S. 73–97). Lawrence Erlbaum Associates.

- Raaijmakers, S. F., Baars, M., Paas, F., van Merriënboer, J. J., & van Gog, T. (2018). Training self-assessment and task-selection skills to foster self-regulated learning: Do trained skills transfer across domains? *Applied Cognitive Psychology*, 32(2), S. 270–277.
- Raj, N. S., & Renumol, V. G. (2022). A systematic literature review on adaptive content recommenders in personalized learning environments from 2015 to 2020. *Journal of Computers in Education*, 9, S. 113–148.
- Rausch, A. (2018). Lernstrategien im Studium – Entwicklung und Validierung von Skalen zu kognitiven Strategien und externem Ressourcenmanagement (Masterarbeit, Universität Graz). <https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/2791851/full.pdf>
- Renkl, A. (2005). The worked-out examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer, *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 229–246). Cambridge University Press.
- Renkl, A. (2017). Learning from worked examples in mathematics: Students relate procedures to principles. *ZDM Mathematics Education*, 49, S. 571–584.
- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2007). Interactive learning environments: Contemporary issues and trends. An introduction to the special issue. *Educational Psychology Review*, 19(3), S. 235–238.
- Renninger, K. A., & Hidi, S. (2011). Revisiting the conceptualization, measurement, and generation of interest. *Educational Psychologist*, 46(3), S. 168–184.
- Rheinberg, F. (1999). Motivation und Emotion im Lernprozeß: Aktuelle Befunde und Forschungsperspektiven. In M. Jerusalem, *Emotion, Motivation und Leistung* (S. 189–204). Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), S. 57–66.
- Rovers, S. F., Clarebout, G., Savelberg, H. H., de Bruin, A. B., & van Merriënboer, J. J. G. (2019). Granularity matters: Comparing different ways of measuring self-regulated learning, *Metacognition and Learning*, 14(1), S. 1–19
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), S. 68–78.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. The Guilford Press.
- Saks, K., & Leijen, Ä. (2014). Distinguishing self-directed and self-regulated learning and measuring them in the e-learning context. *Procedia – Social and Behavioral Science*, 112, S. 190–198.
- Schöne, C., & Stiensmeier-Pelster, J. (2016). *Selbstwertinventar für Kinder und Jugendliche – SEKJ*. Hogrefe.
- Schöne, C., Dickhäuser, O., Spinath, B., & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). *Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts – SESSKO*. Hogrefe.
- Schöne, C., Dickhäuser, O., Spinath, B., & Stiensmeier-Pelster, J. (2012). *Skalen zur Erfassung des schulischen Selbstkonzepts – SESSKO*. Hogrefe.

- Schallenberger, U. (2005). *Qualität des Erlebens in Arbeit und Freizeit* (Dissertation, Universität Zürich). DocPlayer. <https://docplayer.org/54540795-Forschungsberichte-aus-dem-projekt-qualitaet-des-erlebens-in-arbeit-und-freizeit.html>
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Springer.
- Scheiter, K., & Gerjets, P. (2007). Learner control in hypermedia environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), S. 285-307.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Hogrefe.
- Schiefele, U. (1998). Individual interest and learning - What we know and what we don't know. In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Remminger, & J. Baumert, *Interest and learning* (S. 91–104). IPN.
- Schiefele, U., & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert, *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 249–278). Hogrefe.
- Schiefele, U., & Wild, K.-P. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für differentielle und diagnostische Psychologie*, 15, S. 185–200.
- Schiefele, U., Krapp, A., Wild, K.-P., & Winteler, A. (1993). Der Fragebogen zum Studieninteresse (FSI). *Diagnostika*, 39, S. 335–351.
- Schiefele, U., Streblow, L., & Brinkmann, J. (2007). Aussteigen oder Durchhalten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39(3), S. 127–140.
- Schiefele, U., Streblow, L., Ermgassen, U., & Moschner, B. (2003). Lernmotivation und Lernstrategien als Bedingungen der Studienleistung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17(3), S. 185–200.
- Schlager, S. (2019). *Zur Erforschung des Zusammenhangs zwischen Sprachkompetenz und Mathematikleistung*. Springer.
- Schleinschok, K., Eitel, A., & Scheiter, K. (2017). Do drawing tasks improve monitoring and control during learning from text? *Learning and Instruction*, 51, S. 10–25.
- Schunk, D. H. (1991). Self-efficacy and academic motivation. *Educational Psychologist*, 26(3–4), S. 207–231.
- Schwinger, M. (2008). *Selbstwertregulation im Lernprozess* (Dissertation, Universität Gießen). JLU Pub. https://jlupub.uni-giessen.de/bitstream/handle/jlupub/16063/Schwinger_Malte-2008-11-19.pdf?sequence=1
- Sebesta, A. J., & Bray Speth, E. (2017). How should I study for the exam? Self-regulated learning strategies and achievement in introductory biology. *CBE – Life Sciences Education*, 16(2).
- Shapiro, A. M. (2004). How including prior knowledge as a subject variable may change outcomes of learning research. *American Educational Research Journal*, 41, S. 159–189.

-
- Shingala, M. C., & Rajyaguru, A. (2015). Comparison of post hoc tests for unequal variance. *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*, 2(5), S. 22–33.
- Snow, R. E. (1991). Aptitude-treatment interaction as a framework for research on individual differences in psychotherapy. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 59(2), S. 205–216.
- Snow, R. E., & Swanson, J. (1992). Instructional psychology: Aptitude, adaptation and assessment. *Annual Review of Psychology*, 43, S. 583–626.
- Spinath, B. (2004). Determinanten von Fähigkeitsselbstwahrnehmungen im Grundschulalter. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 36, S. 63–68.
- Spinath, B. (2009). Zielorientierung. In V. Brandtstätter, & J. H. Otto, *Handbuch der Allgemeinen Psychologie: Motivation und Emotion* (S. 64–71). Hogrefe.
- Spinath, B., Stiensmeier-Pelster, J., Schöne, C., & Dickhäuser, O. (2002). *Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation – SELLMO*. Hogrefe.
- Spinath, B., Stiensmeier-Pelster, J., Schöne, C., & Dickhäuser, O. (2012). *Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation – SELLMO*. Hogrefe.
- Stark, L. (2016). *Emotionen und Lernen mit Multimedia* (Dissertation, Universität Saarbrücken). DNB. <https://d-nb.info/1124463887/34>
- Statistisches Bundesamt. (o. D.). *Schnellmeldungsergebnisse der Hochschulstatistik zu Studierenden und Studienanfänger/-innen, Vorläufige Ergebnisse, Wintersemester 2019/2020*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/72005/umfrage/entwicklung-der-studienanfaengerquote/>
- Stein, P., & Vollnhals, S. (2011). *Grundlagen clusteranalytischer Verfahren*. Universität Duisburg-Essen. <https://docplayer.org/9654329-Grundlagen-clusteranalytischer-verfahren.html>
- Steinmayr, R., Bipp, T., & Spinath, B. (2011). Goal orientations predict academic performance beyond intelligence and personality. *Learning and Individual Differences*, 21(2), S. 196–200.
- Stiensmeier-Pelster, J., & Heckhausen, H. (2018). Kausalattribution von Verhalten und Leistung. In J. Heckhausen, & H. Heckhausen, *Motivation und Handeln* (S. 451–492). Springer.
- Stiensmeier-Pelster, J., & Schöne, C. (2008). Fähigkeitsselbstkonzept. In W. Schneider, & M. Hasselhorn, *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 62–73). Hogrefe.
- Stiensmeier-Pelster, J., & Schwinger, M. (2008). Kausalattribution. In W. Schneider, & M. Hasselhorn, *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 74–83). Hogrefe.
- Sweller, J. (2016). Cognitive load theory, evolutionary educational psychology, and instructional design. In D. C. Geary, & D. B. Berch, *Evolutionary perspectives on child development and education* (S. 291–306). Springer International Publisher.
- Taub, M., Azevedo, R., Bouchet, F., & Khosravifar, B. (2014). Can the use of cognitive and metacognitive self-regulated learning strategies be predicted by learners levels of prior knowledge in hypermedia-learning environments? *Computers in Human Behavior*, (39), S. 356–367.
-

- Taub, M., Azevedo, R., Rajendran, R., Cloude, E. B., Biswas, G., & Price, M. J. (2021). How are students' emotions related to the accuracy of cognitive and metacognitive processes during learning with an intelligent tutoring system? *Learning and Instruction* (72), S. 101–110.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J., & Leutner, D. (2009). Is it merely a question of "what" to prompt or also "when" to prompt? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), S. 105–115.
- Thompson, R. A. (1994). Emotion regulation: A theme in search of a definition. *The development of emotion regulation: Biological and behavioral consideration*, 59 (2–3), S. 25–52.
- Thompson, B. (2007). Effect size, confidence intervals, and confidence intervals for effect sizes. *Psychology in the Schools*, 44, S. 423–432
- Thonhauser, J. (2008). *Aufgaben als Katalysatoren von Lernprozessen. Eine zentrale Komponente organisierten Lehrens und Lernens aus Sicht von Lernforschung, allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik*. Waxmann.
- Titz, W. (2001). *Emotionen von Studierenden in Lernsituationen. Explorative Analyse und Entwicklung von Selbstberichtsskalen*. Waxmann.
- Tokmak, H. S., Incikabi, L., & Yelken, T. Y. (2012). Differences in the educational software evaluation process for experts and novice students. *Australasian Journal of Educational Technology*, 28(8), S. 1283–1297.
- Tourangeau, R., & Yan, T. (2007). Sensitive questions in surveys. *Psychological Bulletin*, 133(5), S. 859–883.
- Tulis, M. (2010). Individualisierung im Fach Mathematik: Effekte auf Leistung und Emotionen. In F. W. Hesse, *Wissensprozesse und digitale Medien* (Bd. 16). Logos.
- Tyler-Smith, K. (2006). Early attrition among first time eLearners. A review of factors that contribute to drop-out, withdrawal and non-completion rates of adult learners undertaking eLearning programmes. *Journal of Online Learning and Teaching*, 2(2), S: 73-85.
- Ulrich, D., & Mayring, P. (2003). *Psychologie der Emotionen*. Kohlhammer.
- van den Boom, G., Paas, F., van Merriënboer, J. J., & van Gog, T. (2004). Reflection prompts and feedback in a web-based learning environment: Effect on students' self-regulated learning competence. *Computers in Human Behavior*, 20, S. 551–567.
- van Gog, T., & Rummel, N. (2010). Example-based learning. Integrating cognitive and social-cognitive research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22, S. 155–174.
- van Halem, N., van Klaveren, C., Drachsler, H., Schmitz, M., & Cornelisz, I. (2020). Tracking patterns in self-regulated learning using students' self-reports and online trace data. *Frontline Learning Research*, 8(3), S. 140–163.
- van Merriënboer, J. J. (1999). *Cognition and multimedia design for complex learning*. Open Universiteit Nederland.
- Volk, B. (2023). *Flipped classroom*. Utb.

- Vollmeyer, R., & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, S. 11–23.
- van Hout-Wolters, B., Simons, R.-J., & Volet, S. (2002). Active learning: Self-directed learning and independent work. In R.-J. Simons, J. van der Linden, & T. Duffy (Hrsg.). *New learning: Three ways to learn in a new balance* (S. 21–36). Kluwer
- von Aufschnaiter, C., & Rogge, R. (2010). Wie lassen sich Verläufe der Entwicklung von Kompetenz modellieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, S. 95–114.
- von Aufschnaiter, C., & Rogge, C. (2010). Misconceptions or missing conception? *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), S. 3–18.
- von Aufschnaiter, C., & von Aufschnaiter, S. (2001). Eine neue Aufgabekultur für den Physikunterricht. Was fachdidaktische Lernprozess-Forschung zur Entwicklung von Aufgaben beitragen kann. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 54(7), S. 409–416.
- Vorholzer, A., Eitel, A., von Aufschnaiter, C., & Stiensmeier-Pelster, J. (2020). *Prozesse der Selbstregulation bei der Bearbeitung einer digitalen aufgabenbasierten Lernumgebung im Physikstudium* (DFG Projektantrag, Justus-Liebig-Universität Gießen).
- Weckler, J. (in Vorbereitung). *Selbstbestimmte Bearbeitungsprozesse von Studierenden in einer aufgabenbasierten Lernumgebung zur Mechanik*. (Dissertation am Fachbereich 07 der Justus-Liebig-Universität Gießen).
- Weiner, B. (1985). An attributional theory of achievement motivation and emotion. *Psychological Review*, 92, S. 548–573.
- Weiner, B. (1986). *An attributional theory of motivation and emotion*. Springer.
- Weinstein, C. E. (1987). *Learning and study strategies inventory (LASSI)*. H & H Publishing Company
- Weinstein, C. E., & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock, *Handbook of research on teaching – Thrid Edition* (S. 315–327). MacMillan Publishing Company.
- Weise, J. J., Greiff, S., & Sparfeldt, J. R. (2020). The moderating effect of prior knowledge on the relationship between intelligence and complex problem solving – testing the Elshout-Raaheim Hypothesis. *Intelligence*, 83(C).
- Wenden, A. L. (1987). Conceptual background and utility. In A. L. Wenden, & J. Rubin, *Learner strategies in language learning* (S. 3–13). Prentice/Hall International.
- Wigfield, A., & Eccles, J. (2000). Expectancy-Value Theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25, S. 68–81.
- Wild, K.-P. (1996). Beziehungen zwischen Belohnungsstrukturen der Hochschule, motivationalen Orientierungen der Studierenden und individuellen Lernstrategien beim Wissenserwerb. In J. Lompscher, & H. Mandl, *Lehr- und Lernprobleme im Studium* (S. 54–69). Huber.

- Wild, K.-P. (2005). Individuelle Lernstrategien von Studierenden. Konsequenzen für die Hochschuldidaktik und die Hochschullehre. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 23(2), S. 191–206.
- Wild, K.-P., & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, S. 185–200.
- Winne, P. H. (2010). Improving measurements of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 45(4), S. 267–276.
- Winne, P. H. (2011). A cognitive and metacognitive analysis of self-regulated learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Hrsg.). *Metacognition in educational theory and practice* (S. 277–304). Lawrence Erlbaum Associates.
- Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated engagement in learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser, *Metacognition in educational theory and practice* (S. 277–304). Erlbaum.
- Winne, P. H., & Hadwin, A. F. (2013). nStudy: Tracing and supporting self-regulated learning in the internet. In R. Azevedo, & V. Aleven, *International handbook of metacognition and learning technologies* (S. 293–308). Springer.
- Winne, P. H., & Perry, N. E. (2005). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. Pintrich, & M. Zeidner, *Handbook of self-regulation* (S. 531–566). Academic Press.
- Winters, F. I., Greene, J. A., & Costich, C. M. (2008). Self-regulation of learning within computer-based learning environments: A critical analysis. *Educational Psychology Review*, 20(4), S. 429–444.
- Winther, E. (2006). *Motivation im Lernprozess*. Deutscher Universitäts-Verlag.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Waxmann.
- Wirth, J., & Leutner, D. (2008). Self-regulated learning as a competence. *Journal of Psychology*, 216(2), S. 102–110.
- Wirthwein, L., Sparfeldt, J. R., Piquart, M., Wegerer, J., & Steinmayr, R. (2013). Achievement goals and academic achievement: A closer look at moderating factors. *Educational Research Review*, 10, S. 66–89.
- Wolters, C. A. (2003). Regulation of motivation: Evaluating an underemphasized aspect of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 38(4), S. 189–205.
- Wolters, C. A., Yu, S. L., & Pintrich, P. R. (1996). The relation between goal orientation and students' motivational beliefs and self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, 8(3), S. 211–238.
- Wong, J., Baars, M., Davis, D., van der Zee, T., Houben, G.-J., & Paas, F. (2019). Supporting self-regulated learning in online learning environments and MOOCs: A systematic review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 4–5, S. 356–373.
- Zeidner, M. (2007). Test anxiety in educational contexts: Concepts, findings and future directions. In P. A. Schutz, & R. Pekrun, *Emotions in education* (S. 165–184). Academic Press.

- Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology, 81*(3), S. 329–339.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner, *Handbook of self-regulation* (S. 13–40). Academic Press.
- Zimmerman, B. J., & Lebeau, R. B. (2000). A commentary on self-directed learning. In D. H. Evensen, & C. E. Hmelo-Silver, *Problem-based learning: A research perspective on learning interactions* (S. 299–314). Routledge.
- Zimmerman, B. J., & Ringle, J. (1981). Effects of model persistence and statements of confidence on children's self-efficacy and problem solving. *Journal of Educational Psychology, 73*(4), S. 485–493.
- Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (1989). *Self-regulated learning and academic achievement: Theory, Research, and Practice*. Springer.

Anhang

A: Lernumgebung

Im Folgenden werden Ausschnitte aus den verschiedenen Seiten der entwickelten offenen, aufgabenbasierten, digitalen Lernumgebung zur Verdeutlichung der Inhalte und des Aufbaus dargelegt. Exemplarisch wird hier eine Navigation durch den Themenblock „Grundgrößen der Kraft“ abgebildet. Der Mauscursor in den Abbildungen stellt einen „Klick“ auf den jeweiligen abgebildeten Seiten dar, um zur folgenden in der nächsten Abbildung gezeigten Seite zu gelangen (alle Abbildungen befinden sich also in einer Klickreihenfolge).

Um einen detaillierten Einblick in die entwickelte Lernumgebung und damit die einzelnen Inhalte zu bekommen, kann über sekretariat@didaktik.physik.uni-giessen.de ein Zugang zur Lernumgebung angefordert werden.

Abbildung A1

Willkommensseite der Lernumgebung



Abbildung A2

Login-Fenster



Abbildung A3

Startseite der Lernumgebung mit allgemeinen Hinweisen



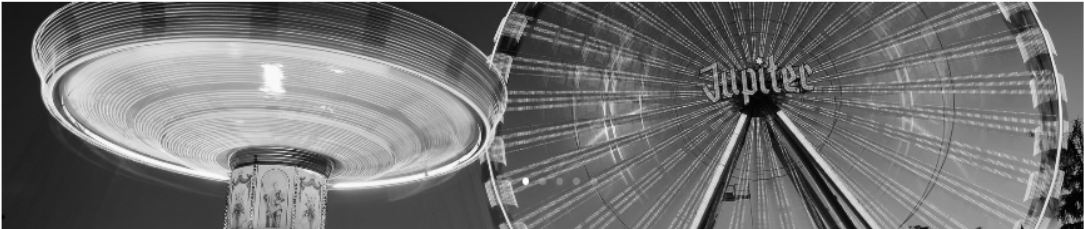
Abbildung A4


Einführungsvideo zur Erklärung der Struktur und der Inhalte der Lernumgebung





Abbildung A5


Übersichtsseite zu den verschiedenen Themenblöcken der Lernumgebung





 **Dynamik I**


[Grundgrößen zur Kraft](#) 

[Mehrkraftsysteme](#) 

[Besondere Kräfte](#) 

 **Dynamik II**

[Kraft und Translationsbewegungen](#) 

[Kraft und Rotationsbewegungen](#) 


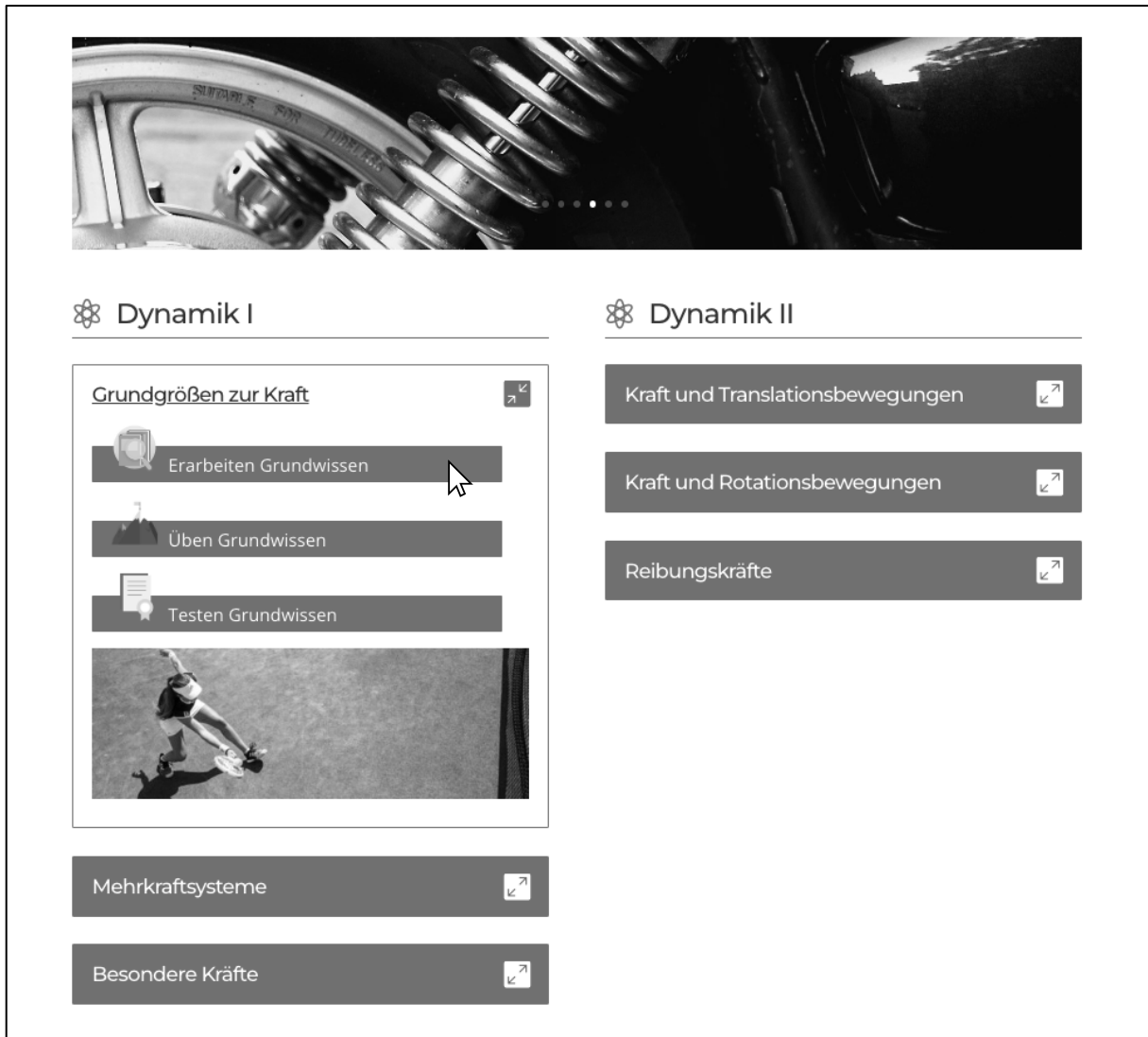
[Reibungskräfte](#) 

Abbildung A6

Übersicht über die Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen) zum Themenblock „Grundgrößen der Kraft“



The screenshot displays a user interface for a learning module. At the top, there is a banner image showing a close-up of a car's suspension system. Below the banner, the interface is divided into two main sections: 'Dynamik I' and 'Dynamik II'. Under 'Dynamik I', there is a sub-section titled 'Grundgrößen zur Kraft' which contains three activity buttons: 'Erarbeiten Grundwissen', 'Üben Grundwissen', and 'Testen Grundwissen'. Below these is a small image of a person on a skateboard. Further down are two more buttons: 'Mehrkraftsysteme' and 'Besondere Kräfte'. The 'Dynamik II' section contains three buttons: 'Kraft und Translationsbewegungen', 'Kraft und Rotationsbewegungen', and 'Reibungskräfte'. Each button includes a small icon of a square with arrows pointing outwards.

Dynamik I

Grundgrößen zur Kraft

Erarbeiten Grundwissen

Üben Grundwissen

Testen Grundwissen

Mehrkraftsysteme

Besondere Kräfte

Dynamik II

Kraft und Translationsbewegungen

Kraft und Rotationsbewegungen

Reibungskräfte

Abbildung A7

Übersicht über die verschiedenen Themen des Themenblocks „Grundgrößen der Kraft“

Grundgrößen der Kraft



Starten der gesamten Einheit

Zum Üben

Zum Testen

Zurück zur Übersicht

Starten einzelner Inhalte

- └ Kraft und Wirkung
- └ Kraft als Vektor
- └ Masse
- └ Kraft und Gegenkraft

Abbildung A8

Instruktionstext und Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben zum Thema „Kraft und Wirkung“

Kraft und Wirkung

In der Mechanik spielen Kräfte eine zentrale Rolle. Kräfte können Körper verformen und/oder deren Bewegungszustand verändern. Das Formelzeichen der Kraft ist F , die Einheit der Kraft ist Newton N . In SI-Einheiten gilt:

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Es ist möglich, dass Kräfte auf einen Körper wirken, sich dennoch sein Bewegungszustand (der Betrag und/oder die Richtung seiner Geschwindigkeit) und dessen Form nicht verändern. Es heben sich dann alle am Körper angreifenden Kräfte auf, es wirkt keine *resultierende* Kraft. Aus der Änderung des Bewegungszustandes und/oder der Form eines Körpers kann also auf eine resultierende Kraft geschlossen werden. Aus einer fehlenden Änderung des Bewegungszustandes oder der Form kann aber nicht geschlossen werden, dass gar keine Kraft wirkt – alle angreifenden Kräfte heben sich möglicherweise auf.

Beispiel 1	Kurzaufgabe 1
Beispiel 2	Kurzaufgabe 2
Beispiel 3	Kurzaufgabe 3
Beispiel 4	Kurzaufgabe 4

Zurück zur Übersicht

Nächste Seite

Zum Üben

Abbildung A9

Instruktionstext und Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben zum Thema „Kraft als Vektor“

Kraft als Vektor









Die Kraft ist eine vektorielle Größe. Sie hat eine Richtung und einen Betrag. Als vektorielle Größe hat die Kraft das Formelzeichen \vec{F} .


Der Betrag der Kraft gibt die Größe der Kraft an und wird geschrieben als $|\vec{F}|$ oder als F (ohne Vektorpfeil).

Die Richtung der Kraft wird grafisch durch einen Pfeil (mathematisch: Vektor) dargestellt. Der Fußpunkt des Pfeils setzt am Angriffspunkt der wirkenden Kraft an. Der Pfeil zeigt in Richtung der wirkenden Kraft. Die relative Länge des Pfeils ist ein Maß für den Betrag der Kraft.

Die Darstellung der Richtung von Kräften durch Pfeile erfordert die Wahl eines Koordinatensystems. Im Folgenden wird immer ein kartesisches Koordinatensystem verwendet, bei dem die x-Richtung horizontal und die y-Richtung vertikal ausgerichtet ist.

Unterscheiden sich zwei Vektoren lediglich im Vorzeichen, so haben diese den gleichen Betrag und somit die gleiche Größe, sind jedoch entgegengerichtet.

Beispiel 1 	Kurzaufgabe 1 
Beispiel 2 	Kurzaufgabe 2 
Beispiel 3 	Kurzaufgabe 3 
Beispiel 4 	Kurzaufgabe 4 

Vorherige Seite Nächste Seite 

Zum Üben

Abbildung A10

Instruktionstext und Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben zum Thema „Masse“

Masse

Jeder reale Körper hat eine Masse. Das Formelzeichen der Masse ist m . Die Masse wird in der SI-Einheit kg (Kilogramm) angegeben. Die Masse eines Körpers ist ortsunabhängig. Vom Ort abhängen kann aber die Kraft, die aufgewendet werden muss, um die gleiche Wirkung – z. B. die gleiche Änderung des Bewegungszustandes – zu erreichen.

Je größer die Masse eines Körpers ist, umso größer ist die Kraft, die erforderlich ist, um die gleiche Änderung seines Bewegungszustandes zu erzielen.

Beispiel 1	Kurzaufgabe 1
Beispiel 2	Kurzaufgabe 2
Beispiel 3	Kurzaufgabe 3
Beispiel 4	Kurzaufgabe 4

Vorherige Seite

Nächste Seite

Zum Üben


Abbildung A11

Geöffnetes Vorschauenfenster zum ersten Beispiel der Instruktionseite zum Thema „Masse“

Masse

Jeder reale Körper hat eine Masse. Das Formelzeichen der Masse ist m . Die Masse wird in der SI-Einheit kg (Kilogramm) angegeben. Die Masse eines Körpers ist ortsunabhängig. Vom Ort abhängen kann aber die Kraft, die aufgewendet werden muss, um die gleiche Wirkung – z. B. die gleiche Änderung des Bewegungszustandes – zu erreichen.

Je größer die Masse eines Körpers ist, umso größer ist die Kraft, die erforderlich ist, um die gleiche Änderung seines Bewegungszustandes zu erzielen.

Beispiel 1 


Situationsbeschreibung:


Auf zwei Kisten der gleichen Masse wird die gleiche Kraft am gleichen Ort ausgeübt.


Mögliche Aufforderung:


Geben Sie an, welche der Kisten den Bewegungszustand stärker verändern wird und begründen Sie Ihre Angabe.

Zum Beispiel


Kurzaufgabe 1 

Kurzaufgabe 2 

Kurzaufgabe 3 

Kurzaufgabe 4 

Vorherige Seite

Nächste Seite 

Zum Üben

Abbildung A12

Instruktionstext und Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

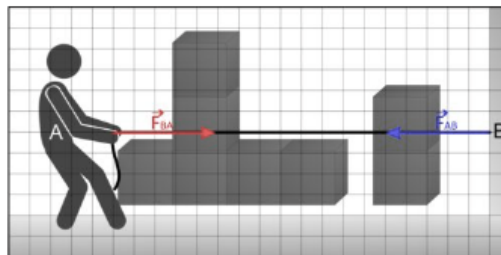
Kraft und Gegenkraft

Immer, wenn auf einen Körper K1 eine Kraft ausgeübt wird, erfährt der die Kraft ausübende Körper K2 ebenfalls eine Kraft. In diesem Sinne treten Kräfte immer paarweise auf, man spricht oft von „Kraft (actio) und Gegenkraft (reactio)“. Kraft und Gegenkraft liegen auf einer Wirkungslinie und sind gleich groß, sie haben aber eine entgegengesetzte Richtung. Wichtig ist, dass Kraft und Gegenkraft immer an verschiedenen Körpern angreifen. Kraft und Gegenkraft dürfen deshalb nicht miteinander verrechnet bzw. bilanziert werden.

Der Zusammenhang von Kraft und Gegenkraft ist im 3. Newtonschen Axiom festgehalten:

Übt ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft \vec{F}_{AB} aus, so übt Körper B auch eine vom Betrag gleiche, aber entgegengesetzte Kraft \vec{F}_{BA} auf Körper A aus. Es gilt:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$


[Beispiel 1](#)

[Kurzaufgabe 1](#)

[Beispiel 2](#)

[Kurzaufgabe 2](#)

[Beispiel 3](#)

[Kurzaufgabe 3](#)

[Beispiel 4](#)

[Kurzaufgabe 4](#)

[Vorherige Seite](#)
[Ende der Einheit](#)
[Zum Üben](#)

Abbildung A13

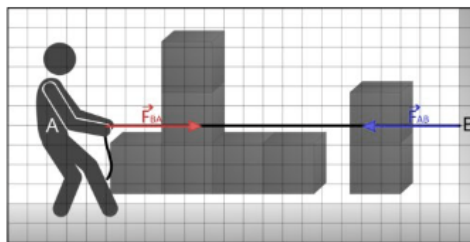
Geöffnetes Vorschaufenster zum ersten Beispiel der Instruktionsseite zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Kraft und Gegenkraft liegen auf einer Wirkungslinie und sind gleich groß, sie haben aber eine entgegengesetzte Richtung. Wichtig ist, dass Kraft und Gegenkraft immer an verschiedenen Körpern angreifen. Kraft und Gegenkraft dürfen deshalb nicht miteinander verrechnet bzw. bilanziert werden.

Der Zusammenhang von Kraft und Gegenkraft ist im 3. Newtonschen Axiom festgehalten:

Übt ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft \vec{F}_{AB} aus, so übt Körper B auch eine vom Betrag gleiche, aber entgegengesetzte Kraft \vec{F}_{BA} auf Körper A aus. Es gilt:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$



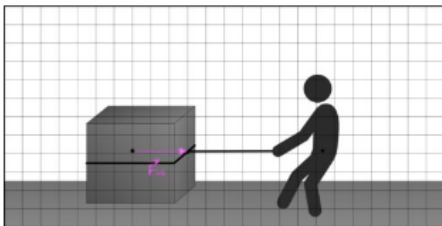
Beispiel 1

Situationsbeschreibung:

Eine Person zieht eine Kiste über einen Boden. Die Kraft \vec{F}_{PK} , die die Person auf die Kiste ausübt, ist durch einen Pfeil dargestellt.

Mögliche Aufforderung:

Stellen Sie die Gegenkraft zur Kraft \vec{F}_{PK} durch einen Pfeil dar.



Zum Beispiel

Kurzaufgabe 1

Kurzaufgabe 2

Kurzaufgabe 3

Kurzaufgabe 4

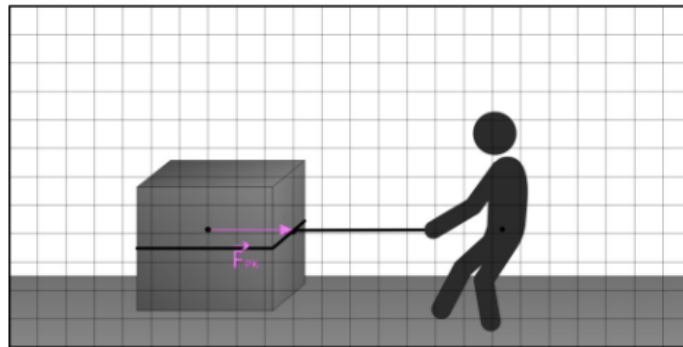
Abbildung A14*Beispiel innerhalb des Themas „Kraft und Gegenkraft“*

Situationsbeschreibung:

Eine Person zieht eine Kiste über einen Boden. Die Kraft \vec{F}_{PK} , die die Person auf die Kiste ausübt, ist durch einen Pfeil dargestellt.

Mögliche Aufforderung:

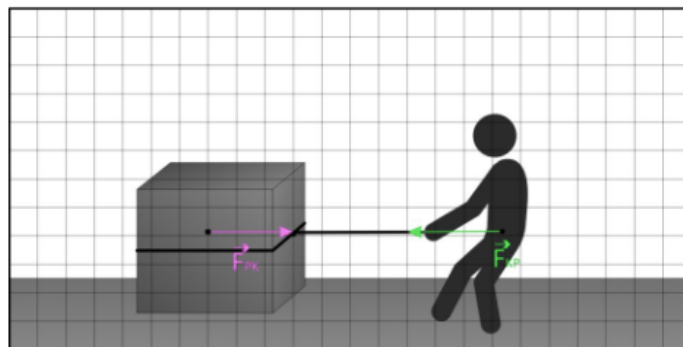
Stellen Sie die Gegenkraft zur Kraft \vec{F}_{PK} durch einen Pfeil dar.



Anwendung:

Kraft und zugehörige Gegenkraft sind immer gleich groß, haben aber eine entgegengesetzte Richtung (3. Newtonsches Axiom). Die Länge der Pfeile muss also gleich lang sein, die Pfeile aber in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Das 3. Newtonsche Axiom besagt zudem, dass die beiden Kräfte an unterschiedlichen Körpern angreifen. Die Fußpunkte der Pfeile müssen also in verschiedenen Körpern (einmal in der Person, einmal in der Kiste) liegen.

Lösung:



Zurück zur Übersicht

Abbildung A15

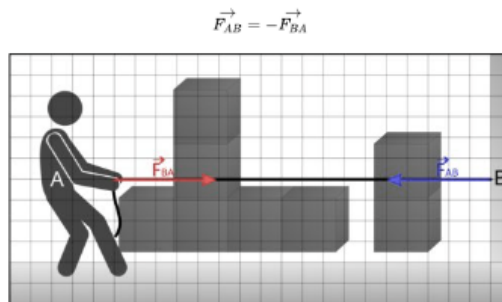
Instruktionstext und Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Kraft und Gegenkraft

Immer, wenn auf einen Körper K1 eine Kraft ausgeübt wird, erfährt der die Kraft ausübende Körper K2 ebenfalls eine Kraft. In diesem Sinne treten Kräfte immer paarweise auf, man spricht oft von „Kraft (actio) und Gegenkraft (reactio)“. Kraft und Gegenkraft liegen auf einer Wirkungslinie und sind gleich groß, sie haben aber eine entgegengesetzte Richtung. Wichtig ist, dass Kraft und Gegenkraft immer an verschiedenen Körpern angreifen. Kraft und Gegenkraft dürfen deshalb nicht miteinander verrechnet bzw. bilanziert werden.

Der Zusammenhang von Kraft und Gegenkraft ist im 3. Newtonschen Axiom festgehalten:

Übt ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft \vec{F}_{AB} aus, so übt Körper B auch eine vom Betrag gleiche, aber entgegengesetzte Kraft \vec{F}_{BA} auf Körper A aus. Es gilt:



Beispiel 1



Kurzaufgabe 1



Beispiel 2



Kurzaufgabe 2



Beispiel 3



Kurzaufgabe 3



Beispiel 4



Kurzaufgabe 4



Vorherige Seite

Ende der Einheit

Zum Üben

Abbildung A16

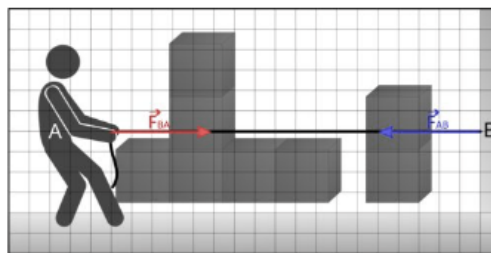
Geöffnetes Vorschaufenster zur ersten Kurzaufgabe der Instruktionsseite zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Kraft und Gegenkraft liegen auf einer Wirkungslinie und sind gleich groß, sie haben aber eine entgegengesetzte Richtung. Wichtig ist, dass Kraft und Gegenkraft immer an verschiedenen Körpern angreifen. Kraft und Gegenkraft dürfen deshalb nicht miteinander verrechnet bzw. bilanziert werden.

Der Zusammenhang von Kraft und Gegenkraft ist im 3. Newtonschen Axiom festgehalten:

Übt ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft \vec{F}_{AB} aus, so übt Körper B auch eine vom Betrag gleiche, aber entgegengesetzte Kraft \vec{F}_{BA} auf Körper A aus. Es gilt:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$



Beispiel 1



Beispiel 2



Beispiel 3



Beispiel 4

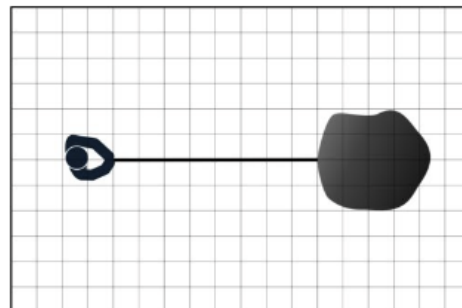
Kurzaufgabe 1

Situationsbeschreibung:

Eine Person zieht an einem Stein.

Aufforderung:

Versuchen Sie die Kraft, die die Person auf den Stein ausübt, und die zugehörige Gegenkraft, die der Stein auf die Person ausübt, durch jeweils einen Pfeil darzustellen.



Zur Aufgabe

Abbildung A17

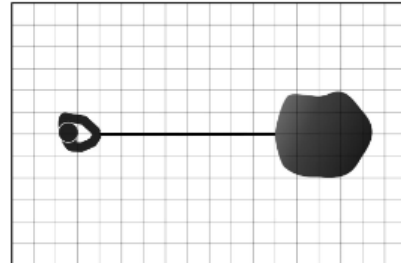
Kurzaufgabe zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Situationsbeschreibung:

Eine Person zieht an einem Stein.

Aufforderung:

Versuchen Sie die Kraft, die die Person auf den Stein ausübt, und die zugehörige Gegenkraft, die der Stein auf die Person ausübt, durch jeweils einen Pfeil darzustellen.



Hier können Sie Ihre Antwort eintragen:

...

Hier ist Platz zum Zeichnen

ZEICHNEN TEXT FORMEN AUFKLEBER

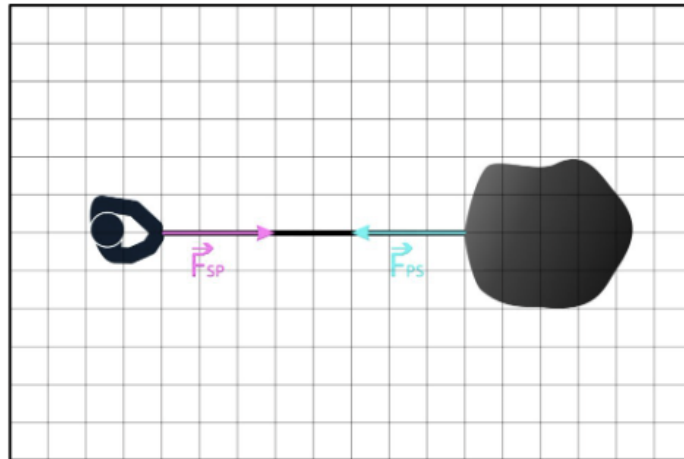
A large drawing area with a grid background. It contains a hand on the left and a stone on the right, connected by a horizontal line. Two arrows are drawn: one pointing from the hand to the stone, and another pointing from the stone back to the hand, representing the action and reaction forces.

Abbildung A18*Musterlösung zu einer Kurzaufgabe zum Thema „Kraft und Gegenkraft“*

Anwendung:

Die Kraft, die die Person auf den Stein ausübt, hat den Angriffspunkt am Stein. Die zugehörige Gegenkraft greift an der Person an. Beide Kräfte sind dabei gleich groß und entgegengesetzt. Daher müssen die Pfeile, die die Kräfte darstellen, gleich lang und entgegengerichtet sein.

Mögliche Lösung:



Lösung Schließen!

Abbildung A19*Selbsteinschätzung zur eigenen Lösung nach der Bearbeitung einer Kurzaufgabe*

Meine Lösung ...

- ist vollständig richtig.
- ist eher richtig/enthält mehr richtige als falsche Anteile.
- ist eher falsch/enthält mehr falsche als richtige Anteile.
- ist vollständig falsch.

Abstimmen

Abbildung A20

Instruktionstext und Übersicht über Beispiele und Kurzaufgaben zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Kraft und Gegenkraft

Immer, wenn auf einen Körper K1 eine Kraft ausgeübt wird, erfährt der die Kraft ausübende Körper K2 ebenfalls eine Kraft. In diesem Sinne treten Kräfte immer paarweise auf, man spricht oft von „Kraft (actio) und Gegenkraft (reactio)“. Kraft und Gegenkraft liegen auf einer Wirkungslinie und sind gleich groß, sie haben aber eine entgegengesetzte Richtung. Wichtig ist, dass Kraft und Gegenkraft immer an verschiedenen Körpern angreifen. Kraft und Gegenkraft dürfen deshalb nicht miteinander verrechnet bzw. bilanziert werden.

Der Zusammenhang von Kraft und Gegenkraft ist im 3. Newtonschen Axiom festgehalten:

Übt ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft \vec{F}_{AB} aus, so übt Körper B auch eine vom Betrag gleiche, aber entgegengesetzte Kraft \vec{F}_{BA} auf Körper A aus. Es gilt:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

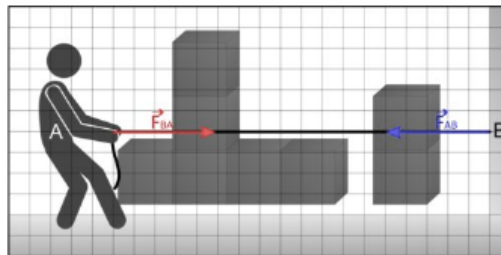

[Beispiel 1](#)[Kurzaufgabe 1](#)[Beispiel 2](#)[Kurzaufgabe 2](#)[Beispiel 3](#)[Kurzaufgabe 3](#)[Beispiel 4](#)[Kurzaufgabe 4](#)[Vorherige Seite](#)[Ende der Einheit](#)[Zum Üben](#)

Abbildung A21


Übersicht über die Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen) zum Themenblock „Grundgrößen der Kraft“



Dynamik I

Grundgrößen zur Kraft

- Erarbeiten Grundwissen
- Üben Grundwissen
- Testen Grundwissen



Mehrkraftsysteme

Besondere Kräfte

Dynamik II

- Kraft und Translationsbewegungen
- Kraft und Rotationsbewegungen
- Reibungskräfte

Abbildung A22

Übersicht über Übungsaufgaben des Themenblocks „Grundgrößen der Kraft“

Willkommen im Übungsbereich der Lernumgebung!

Hier können Sie Übungen zu den einzelnen Themengebieten in verschiedenen Schwierigkeitsstufen auswählen oder gemischte und vernetzende Übungsaufgaben zwischen den einzelnen Themengebieten bearbeiten. Im Vergleich zu den Kurzaufgaben wird in den Übungsaufgaben nur eine Musterlösung oder ein Lösungsvorschlag ohne Lösungsweg und Begründung gegeben. Sind Sie sich bei einer Lösung unsicher, navigieren Sie gerne zurück zur Erarbeitung des Grundwissens.



Kraft und Wirkung 

Kraft als Vektor 

Masse 

Kraft und Gegenkraft 

Vernetzende Übungen 

Zurück zur Übersicht 

Zum Testen

Abbildung A23

Übersicht über die Übungen zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

wird in den Übungsaufgaben nur eine Musterlösung oder ein Lösungsvorschlag ohne Lösungsweg und Begründung gegeben. Sind Sie sich bei einer Lösung unsicher, navigieren Sie gerne zurück zur Erarbeitung des Grundwissens.

Kraft und Wirkung

Kraft als Vektor

Masse

Kraft und Gegenkraft

Anforderungsbereiche

niedrig	mittel	hoch
Person schiebt Kiste	Kugel hängt an Decke	Mann zieht an einer Wand
Eine Frau schiebt ein Auto	Skateboarder ziehen am Seil	Auto wird abgeschleppt
	Person zieht an einer Wand	
	Kran hebt eine Kiste	
	Frau zieht eine Kiste	
	Ein Schlittenhund zieht ein Schlitten	

Vernetzende Übungen

Zurück zur Übersicht

Zum Testen

Abbildung A25*Übung zum Thema „Kraft und Gegenkraft“*

Situationsbeschreibung:

Eine Person übt eine Kraft von

$$\vec{F}_{PK} = \begin{pmatrix} 4 \\ -3 \end{pmatrix} \text{ N}$$

auf eine Kiste aus.

Aufforderung:

Geben Sie die Gegenkraft als Vektor an.

Hier können Sie Ihre Antwort eintragen:

Hier ist Platz zum Zeichnen

 ZEICHNEN TEXT FORMEN AUFKLEBER

Abbildung A26

Musterlösung zu einer Übung aus dem Thema „Kraft und Gegenkraft“

Lösung:

Die Gegenkraft zur Kraft \vec{F}_{PK} ist

$$\vec{F}_{KP} = \begin{pmatrix} -4 \\ 3 \end{pmatrix} N$$

Abbildung A27

Übersichtsseite über die Übungen aus dem Themenblock „Kraft und Gegenkraft“

wird in den Übungsaufgaben nur eine Musterlösung oder ein Lösungsvorschlag ohne Lösungsweg und Begründung gegeben. Sind Sie sich bei einer Lösung unsicher, navigieren Sie gerne zurück zur Erarbeitung des Grundwissens.

Kraft und Wirkung

Kraft als Vektor

Masse

Kraft und Gegenkraft

Anforderungsbereiche

niedrig	mittel	hoch
Person schiebt Kiste	Kugel hängt an Decke	Mann zieht an einer Wand
Eine Frau schiebt ein Auto	Skateboarder ziehen am Seil	Auto wird abgeschleppt
	Person zieht an einer Wand	
	Kran hebt eine Kiste	
	Frau zieht eine Kiste	
	Ein Schlittenhund zieht ein Schlitten	

Vernetzende Übungen

Zurück zur Übersicht

Zum Testen

Abbildung A28

Geöffnetes Vorschauenfenster zu einer Übung zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Schwierigkeitsstufen auswählen oder gemischte und vernetzend Übungsarbeiten zwischen den einzelnen Themengebieten bearbeiten. Im Vergleich zu den Kurzaufgaben wird in den Übungsaufgaben nur eine Musterlösung oder ein Lösungsvorschlag ohne Lösungsweg und Begründung gegeben. Sind Sie sich bei einer Lösung unsicher, navigieren Sie gerne zurück zur Erarbeitung des Grundwissens.



Kraft und Wirkung
↗ ↙

Kraft als Vektor
↗ ↙

Masse
↗ ↙

Kraft und Gegenkraft
↗ ↙

Vernetzende Übungen
↗ ↙


Anforderungsbereiche

niedrig	hoch
Person schiebt Kiste	Mann zieht an einer Wand
Eine Frau schiebt ein Auto	Auto wird abgeschleppt

Situationsbeschreibung:
Ein Schlittenhund zieht einen Schlitten mit einer Kraft \vec{F}_{HS} .

Aufforderung:
Stellen Sie die Kraft \vec{F}_{HS} und die zugehörige Gegenkraft durch einen Pfeil dar.



Zur Aufgabe 

Schlitten

Zurück zur Übersicht

Zum Testen

Abbildung A29

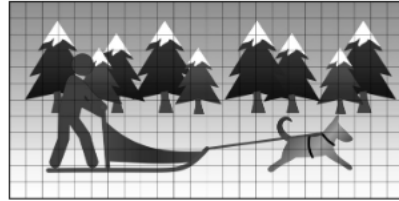
Übung zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

Situationsbeschreibung:

Ein Schlittenhund zieht einen Schlitten mit einer Kraft \vec{F}_{HS} .

Aufforderung:

Stellen Sie die Kraft \vec{F}_{HS} und die zugehörige Gegenkraft durch jeweils einen Pfeil dar.



Hier können Sie Ihre Antwort eintragen:

...

Hier ist Platz zum Zeichnen

ZEICHNEN TEXT FORMEN AUFKLEBER

A large drawing area on a grid background. At the top, there are four icons: a pencil (ZEICHNEN), a text box (TEXT), a shape (FORMEN), and a smiley face (AUFKLEBER). Below the icons is a large grid containing a pre-drawn illustration of a person in silhouette pulling a sled. A dog is attached to the sled by a leash, pulling it forward. The background features stylized evergreen trees and snow-capped mountains.

Abbildung A30

Mögliche Musterlösung zur Übung zum Thema „Kraft und Gegenkraft“

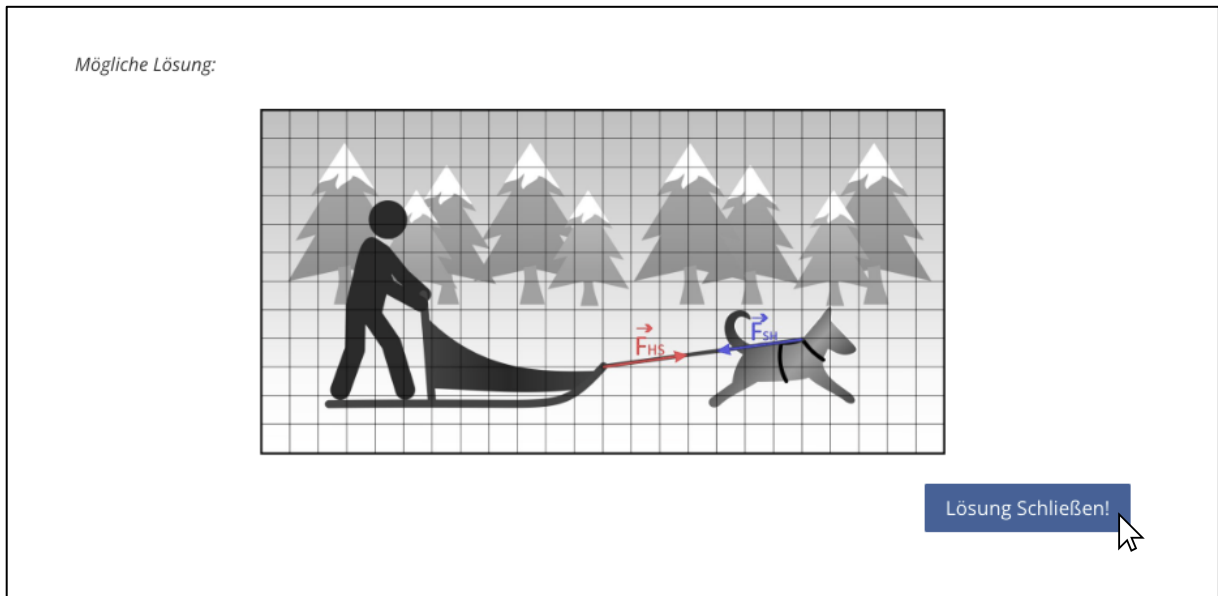


Abbildung A31

Übersicht über Übungsaufgaben des Themenblocks „Grundgrößen der Kraft“

Willkommen im Übungsbereich der Lernumgebung!

Hier können Sie Übungen zu den einzelnen Themengebieten in verschiedenen Schwierigkeitsstufen auswählen oder gemischte und vernetzende Übungsaufgaben zwischen den einzelnen Themengebieten bearbeiten. Im Vergleich zu den Kurzaufgaben wird in den Übungsaufgaben nur eine Musterlösung oder ein Lösungsvorschlag ohne Lösungsweg und Begründung gegeben. Sind Sie sich bei einer Lösung unsicher, navigieren Sie gerne zurück zur Erarbeitung des Grundwissens.



[Kraft und Wirkung](#)

[Kraft als Vektor](#)

[Masse](#)

[Kraft und Gegenkraft](#)


[Vernetzende Übungen](#)

[Zurück zur Übersicht](#)

[Zum Testen](#)

Abbildung A32

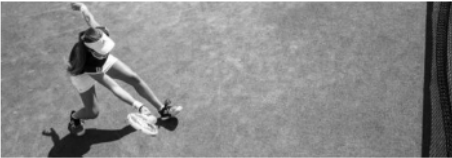
Übersicht über die Aktivitäten (Lesen, Üben, Testen) zum Themenblock „Grundgrößen der Kraft“



Dynamik I

Grundgrößen zur Kraft

- Erarbeiten Grundwissen
- Üben Grundwissen
- Testen Grundwissen



Mehrkraftsysteme

Besondere Kräfte

Dynamik II

- Kraft und Translationsbewegungen
- Kraft und Rotationsbewegungen
- Reibungskräfte

Abbildung A33

Übersicht über die unterschiedlichen Testversionen im Themenblock „Grundgrößen der Kraft“

Willkommen im Testbereich der Lernumgebung!

Hier können Sie Ihr Wissen testen. Dafür stehen Ihnen drei gleiche Testversionen eines Tests zur Verfügung. Die Versionen unterscheiden sich durch die Formulierung der Aufgaben, sind jedoch inhaltlich gleich und stellen annähernd gleiche Anforderungen an Sie. Ein Test beinhaltet dabei verschiedene Multiple-Choice Aufgaben zu dem von Ihnen ausgewählten Themengebiet. Die Aufgaben basieren auf den Inhalten, die innerhalb des Erarbeiten des Grundwissens thematisiert wurden.

Sind Sie sich bei verschiedenen Aufgaben unsicher oder möchten den abgefragten Inhalt wiederholen, navigieren Sie zurück zum Erarbeiten des Grundwissens oder zum Üben des Grundwissens.

Start Version 1Start Version 2Start Version 3
Zurück zur Übersicht

Abbildung A34

Erste Frage zu einem Test aus dem Themenblock „Grundgrößen der Kraft“

The screenshot shows a digital test interface. At the top left, a grey circle contains the number '1/13'. Below this is a horizontal progress bar. The main content area is titled 'Frage 1' in large bold letters. Underneath, it says 'Situationsbeschreibung: Ein Stein liegt auf dem Boden.' followed by 'Frage: In welcher Situation kann ein außenstehender Beobachter die Wirkung einer Kraft auf den Stein erkennen?' and a note '(Hier können mehrere Antworten richtig sein.)'. There are five checkboxes with corresponding text: 'Der Stein wird vom Boden weggeschlagen.', 'Der Stein bewegt sich geradlinig gleichförmig.', 'Der Stein liegt in Ruhe auf dem Boden.', 'Der Stein wird durch eine Presse verformt.', and 'Der Stein wird aufgehoben.'. At the bottom center, there is a grey button with a checkmark and the text 'Nächste Frage', with a mouse cursor hovering over it.

1/13

Frage 1

Situationsbeschreibung:
Ein Stein liegt auf dem Boden.

Frage:
In welcher Situation kann ein außenstehender Beobachter die Wirkung einer Kraft auf den Stein erkennen?
(Hier können mehrere Antworten richtig sein.)

Der Stein wird vom Boden weggeschlagen.

Der Stein bewegt sich geradlinig gleichförmig.

Der Stein liegt in Ruhe auf dem Boden.

Der Stein wird durch eine Presse verformt.

Der Stein wird aufgehoben.

✓ Nächste Frage

(...)

Abbildung A35

Fünfte Frage zu einem Test aus dem Themenblock „Grundgrößen der Kraft“

5/13

Frage 5

Situationsbeschreibung:

Zwei Säcke unterschiedlicher Masse sollen gleichermaßen ihren Bewegungszustand verändern. Sack 1 ist dabei doppelt so schwer wie Sack 2.

Frage:

Inwiefern müssen sich die auf die Säcke ausgeübten Kräfte unterscheiden, damit der Bewegungszustand gleichermaßen verändert wird?

Die Kraft auf Sack 1 muss doppelt so groß sein wie die Kraft auf Sack 2.

Die Kraft auf beide Säcke muss gleich groß sein.

Die Kraft auf Sack 2 muss doppelt so groß sein wie die Kraft auf Sack 1.

✓ Nächste Frage

← zurück zur vorherigen Frage

(...)

Abbildung A36

Übersicht über ein Testergebnis und zugehörige Auswertungen der einzelnen Fragen (Teil 1)

Ihr Testergebnis liegt bei

83%

Zusammenfassung

Beschreibung	Frage	Prozent
Frage 1		
Benutzername	Envijonas	
Frage	<p>Situationsbeschreibung:</p> <p>Ein Stein liegt auf dem Boden.</p> <p>Frage:</p> <p>In welcher Situation kann ein außenstehender Beobachter die Wirkung einer Kraft auf den Stein erkennen?</p> <p><i>(Hier können mehrere Antworten richtig sein.)</i></p>	
Der Stein wird vom Boden weggeschlagen.		3%
Der Stein wird durch eine Presse verformt.		3%
Der Stein wird aufgehoben.		3%

Abbildung A37

Übersicht über ein Testergebnis und zugehörige Auswertungen der einzelnen Fragen (Teil 2)

Frage 6		
Frage 6	<p>Situationsbeschreibung:</p> <p>Durch die gleiche Kraft erfahren zwei Körper eine gleiche Änderung des Bewegungszustandes.</p> <p>Frage:</p> <p>Welcher Körper hat die größere Masse?</p>	
Die Masse beider Körper ist gleich.		8%
Frage 7		
Frage 7	<p>Situationsbeschreibung:</p> <p>Auf einen Ball wird eine Kraft</p> $\vec{F}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ N}$ <p>ausgeübt.</p> <p>Frage:</p> <p>Welche der Kräfte kann eine Gegenkraft zur Kraft 1 sein?</p> <p><i>(Hier können mehrere Antworten richtig sein.)</i></p>	
		4%
		4%
Frage 8		
Frage 8	Situationsbeschreibung:	

Abbildung A38*Abfrage der Attribution zu einem Testergebnis*

Bitte geben Sie uns eine kurze Rückmeldung:



Ich sehe das Testergebnis als Erfolg. Ich sehe das Testergebnis als Misserfolg.

1- Trifft genau zu 2- Trifft eher zu 3- Trifft weder noch zu 4- Trifft eher zu 5- Trifft genau zu

Wenn Sie zu diesem Thema das erste Mal einen Test durchgeführt haben: Was ist der Hauptgrund für Ihr Testergebnis?

Wenn Sie zu diesem Thema bereits einen Test durchgeführt haben: Was ist der Hauptgrund für die Änderung Ihres Testergebnisses in Bezug zum vorherigen testergebnis zu diesem Thema?

Abbildung A39

Einordnung des angegebenen Hauptgrundes für das Testergebnis

<p>Der Hauptgrund ist etwas außerhalb meiner Person (z.B. ungeschickt formulierte Aufgaben).</p>	<p>Der Hauptgrund ist etwas innerhalb meiner Person (z.B. fehlende Konzentration, mangelndes Verständnis).</p>			
<p><input type="radio"/> 1- Trifft genau zu</p>	<p><input type="radio"/> 2- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 3- Trifft weder noch zu</p>	<p><input type="radio"/> 4- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 5- Trifft genau zu</p>
<p>Der Hauptgrund ist eher grundsätzlicher Natur (tritt z.B. auch in anderen Situationen auf).</p>	<p>Der Hauptgrund hat etwas mit der spezifischen Testsituation zu tun.</p>			
<p><input type="radio"/> 1- Trifft genau zu</p>	<p><input type="radio"/> 2- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 3- Trifft weder noch zu</p>	<p><input type="radio"/> 4- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 5- Trifft genau zu</p>
<p>Der Hauptgrund ist dauerhaft.</p>	<p>Der Hauptgrund ist vorübergehend.</p>			
<p><input type="radio"/> 1- Trifft genau zu</p>	<p><input type="radio"/> 2- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 3- Trifft weder noch zu</p>	<p><input type="radio"/> 4- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 5- Trifft genau zu</p>
<p>Der Hauptgrund kann beeinflusst werden (z.B. durch größere Anstrengung).</p>	<p>Der Hauptgrund kann nicht beeinflusst werden.</p>			
<p><input type="radio"/> 1- Trifft genau zu</p>	<p><input type="radio"/> 2- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 3- Trifft weder noch zu</p>	<p><input type="radio"/> 4- Trifft eher zu</p>	<p><input type="radio"/> 5- Trifft genau zu</p>

Abbildung A40

Abfrage bezüglich der Emotionen nach der Rückmeldung eines Testergebnisses

In Bezug auf mein Testergebnis fühle ich mich ...

unzufrieden sehr	unentschieden	zufrieden sehr
<input type="radio"/> -3	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 3
<input type="radio"/> -2	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
<input type="radio"/> -1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 1
<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 0

entspannt sehr	unentschieden	gestresst sehr
<input type="radio"/> -3	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 3
<input type="radio"/> -2	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
<input type="radio"/> -1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 1
<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 0


lustlos sehr	unentschieden	hoch motiviert sehr
<input type="radio"/> -3	<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 3
<input type="radio"/> -2	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2
<input type="radio"/> -1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 1
<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 0

Abstimmen

Abbildung A41

Übersicht über die verschiedenen Themenblöcke der Lernumgebung

Willkommen: EnviJonas Online-Lernen Eigene Notizen Logout



<p>⚙ Dynamik I</p> <div style="background-color: #444; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Grundgrößen zur Kraft ↗ </div> <div style="background-color: #444; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Mehrkräftsysteme ↗ </div> <div style="background-color: #444; color: white; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Besondere Kräfte ↗ </div>	<p>⚙ Dynamik II</p> <div style="background-color: #444; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Kraft und Translationsbewegungen ↗ </div> <div style="background-color: #444; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Kraft und Rotationsbewegungen ↗ </div> <div style="background-color: #444; color: white; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Reibungskräfte ↗ </div>
--	---

Abbildung A42

Abfrage zum Erleben der Bearbeitung beim Ausloggen aus der Lernumgebung

Die bisherige Bearbeitung der Lernumgebung hat mir Spaß gemacht.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Die bisherigen Inhalte der Lernumgebung waren für mich eine Herausforderung.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Die Inhalte der Lernumgebung waren bisher interessant.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Ich habe bisher immer für mich passende Inhalte in der Lernumgebung gefunden.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Ich habe das Gefühl, dass ich gerade erkennbar dazu lerne.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

Ich bin weiterhin motiviert, mit der Lernumgebung zu arbeiten.

1- Trifft nicht zu 2- Trifft kaum zu 3- Trifft eher zu 4- Trifft genau zu

B: Werbemaßnahmen für den Vorkurs zur Mechanik

Der „Vorkurs zur Mechanik der Physik“ vor dem Wintersemester 2021/22 und dem Wintersemester 2022/23 wurde auf der Homepage der Justus-Liebig-Universität beworben. Der Werbetext ist Abbildung B1 zu entnehmen. Zudem wurde in Präsenzvorkursen, die dem „Vorkurs zur Mechanik der Physik“ zeitlich vorgeschaltet waren, mündlich für eine Teilnahme am Vorkurs geworben.

Abbildung B1

Werbetext für die Teilnahme am Vorkurs zur Mechanik auf der Seite der Justus-Liebig-Universität Gießen

Mechanik

Vorkurs zur Mechanik, Anmeldung erforderlich

Der Vorkurs richtet sich an die Erstsemester der Studiengänge

- Physik (B.Sc.)
- Angewandte Physik (B.Sc.)
- Lehramt an Haupt- und Realschulen (L2) mit Unterrichtsfach Physik
- Lehramt an Gymnasien (L3) mit dem Unterrichtsfach Physik
- Lehramt an Förderschulen (L5) mit Unterrichtsfach Physik
- Berufliche und Betriebliche Bildung (B.Ed.) mit dem Unterrichtsfach Physik
- Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen (PTRA, B.Sc.)
- Materialwissenschaften (B.Sc.)

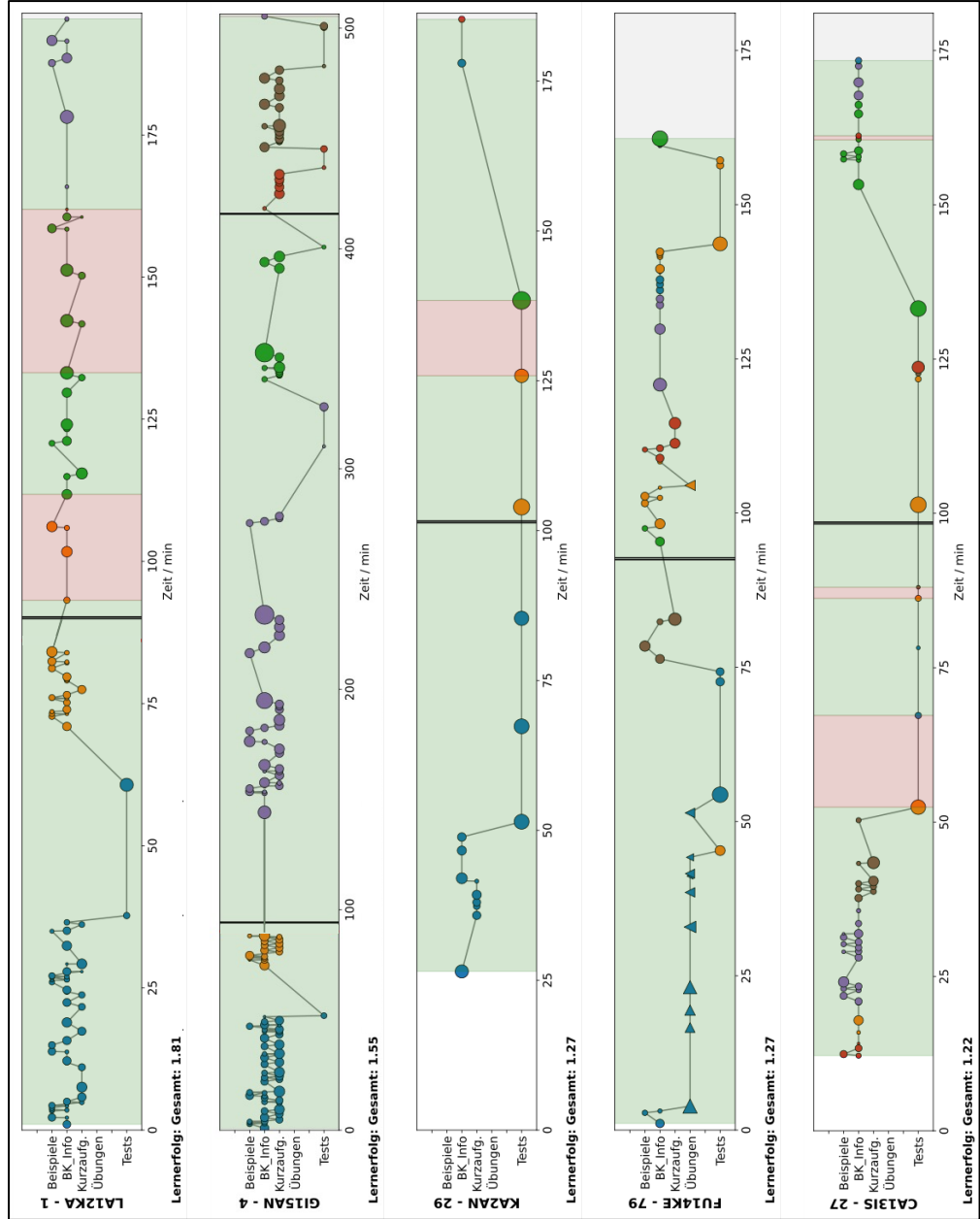
Inhalt

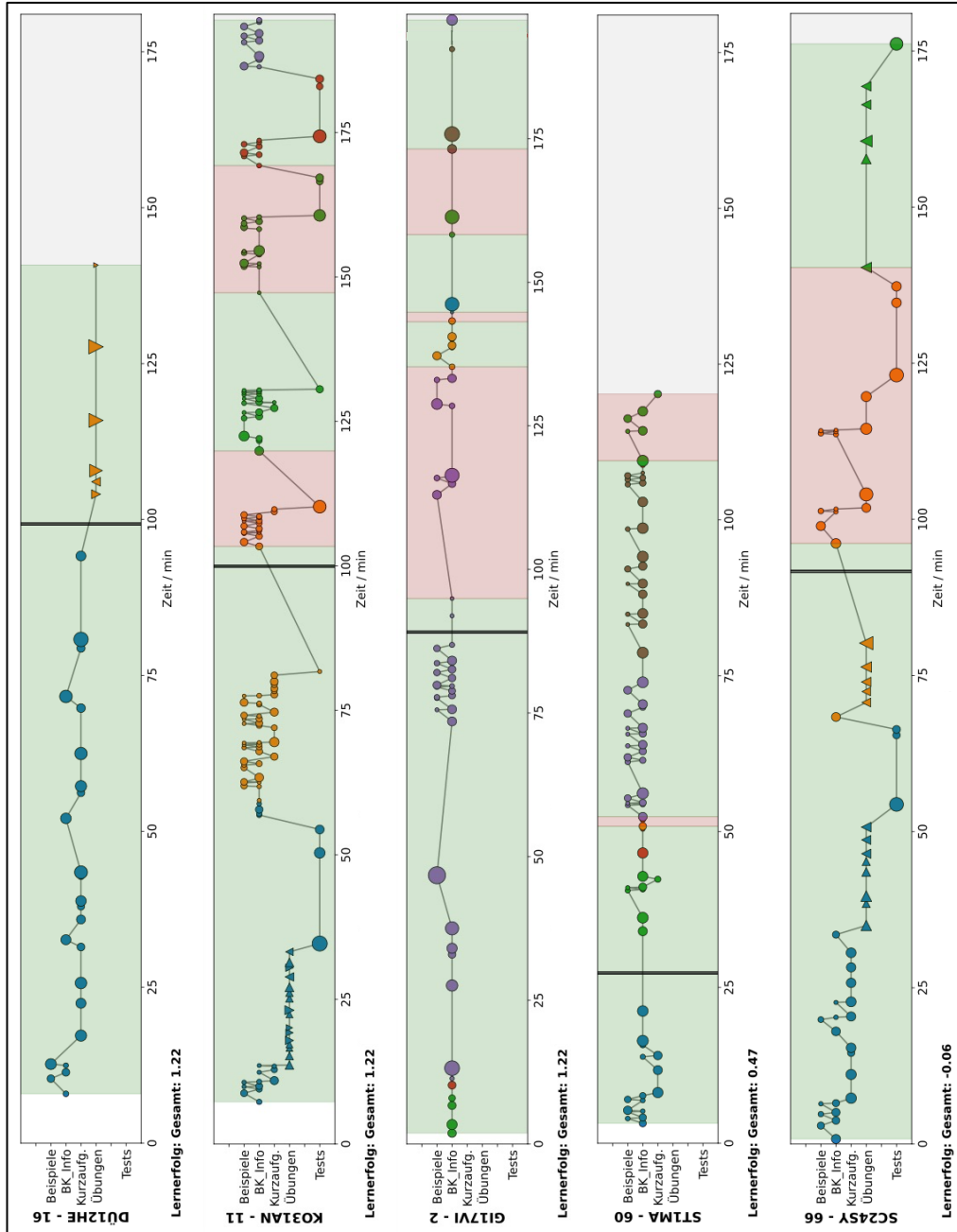
Der Vorkurs zur Mechanik der Physik hat zum Ziel, Sie beim Einstieg in die Vorlesungen der Physik und bei der Bearbeitung von Übungsaufgaben zu unterstützen. Gerade im ersten Semester wird in Vorlesungen zur Physik ein Schwerpunkt auf die Mechanik (u. a. Bewegungen und Kräfte) gelegt. Die Mechanik bildet ein wesentliches Fundament auch für andere Themengebiete. Sie ist u. a. notwendig, um zu beschreiben, wie sich Elektronen in einem elektromagnetischen Feld bewegen (Themengebiet Elektrodynamik) oder welche Wirkung Lichteinstrahlung auf einen Festkörper hat (Themengebiet Optik und Festkörperphysik). Vertiefende Kenntnisse in der Mechanik sind zudem wichtig, um Zusammenhänge zwischen Mechanik und Quantenmechanik oder Mechanik und Relativitätstheorie zu verstehen. Obwohl die Mechanik fundamental ist, zeigen Untersuchungen mit Schüler*innen, dass Grundkonzepte der Mechanik häufig – selbst nach dem Besuch eines Grund- oder Leistungskurses – nicht vollständig verstanden werden. Unsere Erfahrungen mit dem Fahrrad- und Autofahren suggerieren uns z. B. fälschlicherweise, dass immer eine (resultierende) Kraft gebraucht wird, damit sich ein Objekt mit konstanter Geschwindigkeit bewegt (Widerspruch zum ersten Newtonschen Axiom).

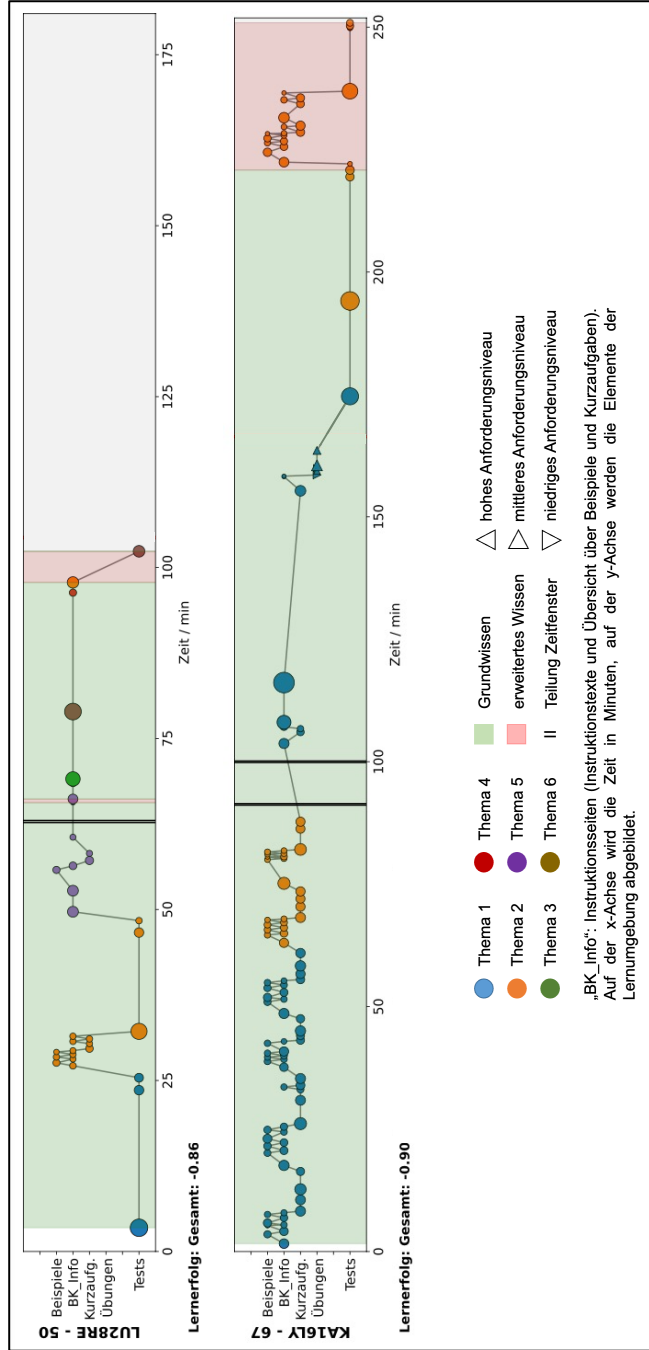
Im Präsenzvorkurs des Institutes für Didaktik der Physik werden Sie einerseits unterstützt, in Einzelarbeit Ihre eigenen fachlichen Vorstellungen zu hinterfragen und in der selbstbestimmten Bearbeitung von Aufgaben und zugehörigen Erläuterungen ihr fachliches Verständnis zu vertiefen und zu erweitern. Andererseits werden kooperative Settings genutzt, um die zielgerichtete Bearbeitung von Rechenaufgaben, wie sie für Übungsveranstaltungen und Klausuren im ersten Semester typisch sind, anzuleiten und zu üben. Hier haben Sie neben dem fachlichen Austausch auch die Möglichkeit, Ihre zukünftigen Kommilitoninnen und Kommilitonen besser kennenzulernen.

C: Lineplots
Abbildung C1

Lineplots der Lernenden der Gruppe „hoWi“

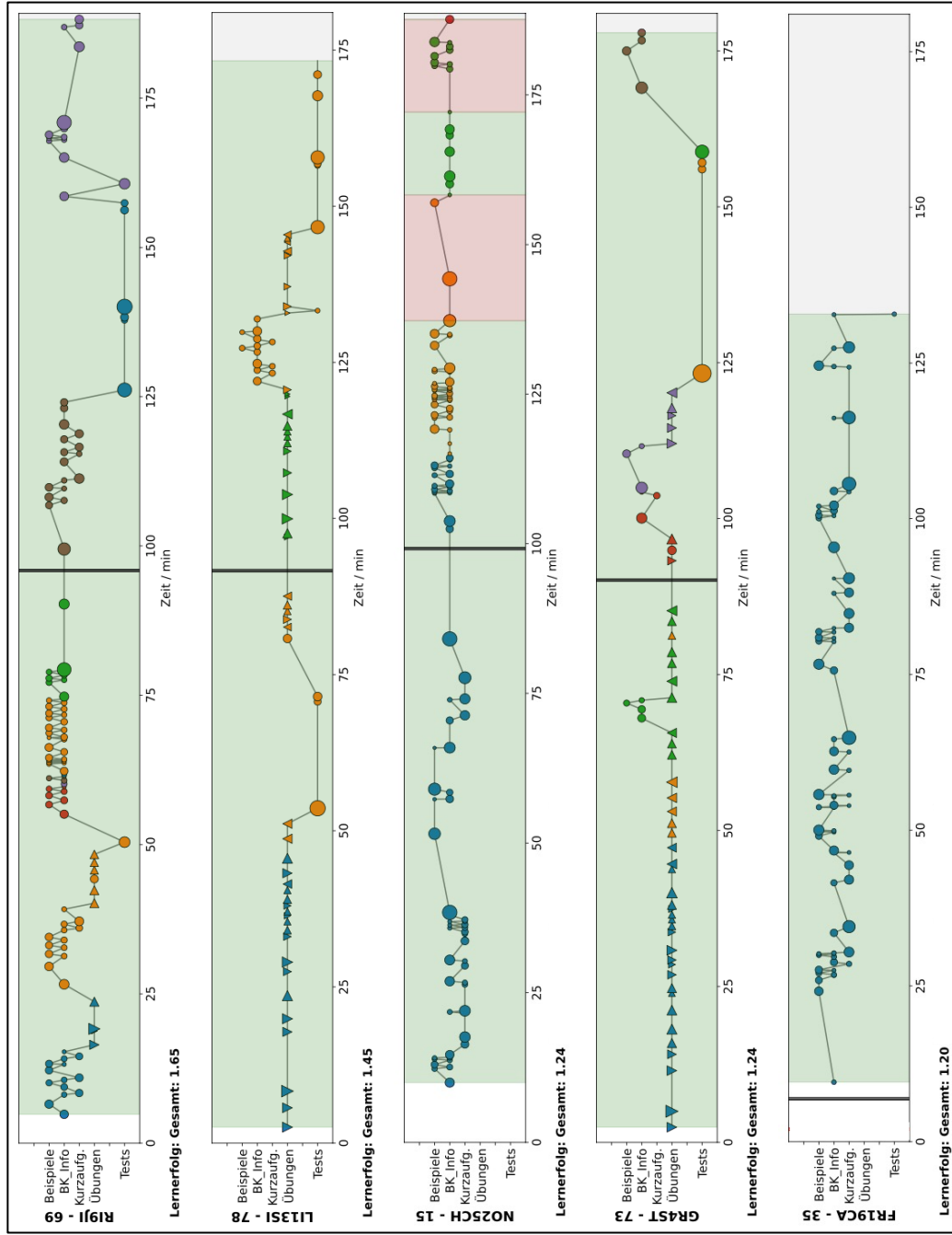


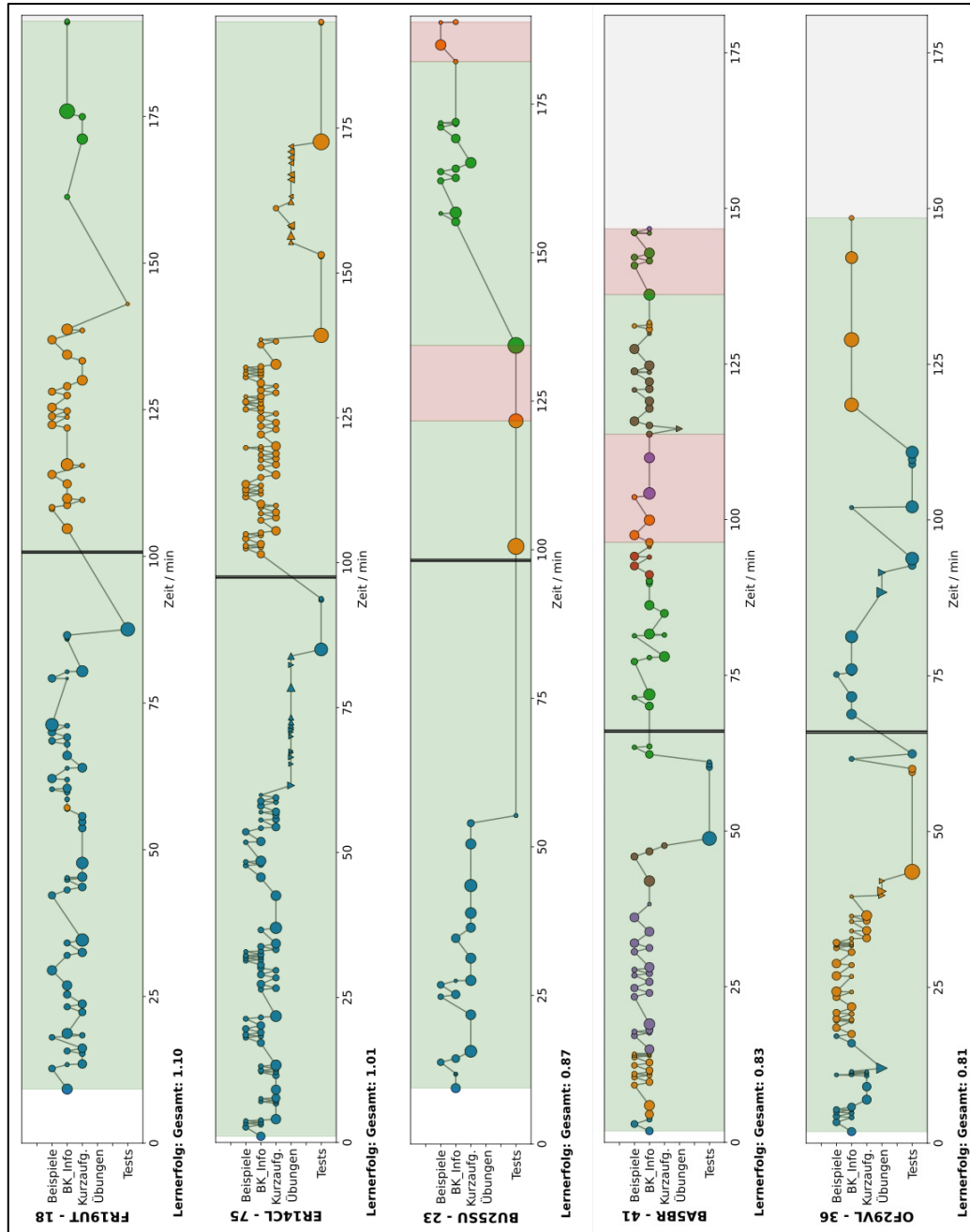


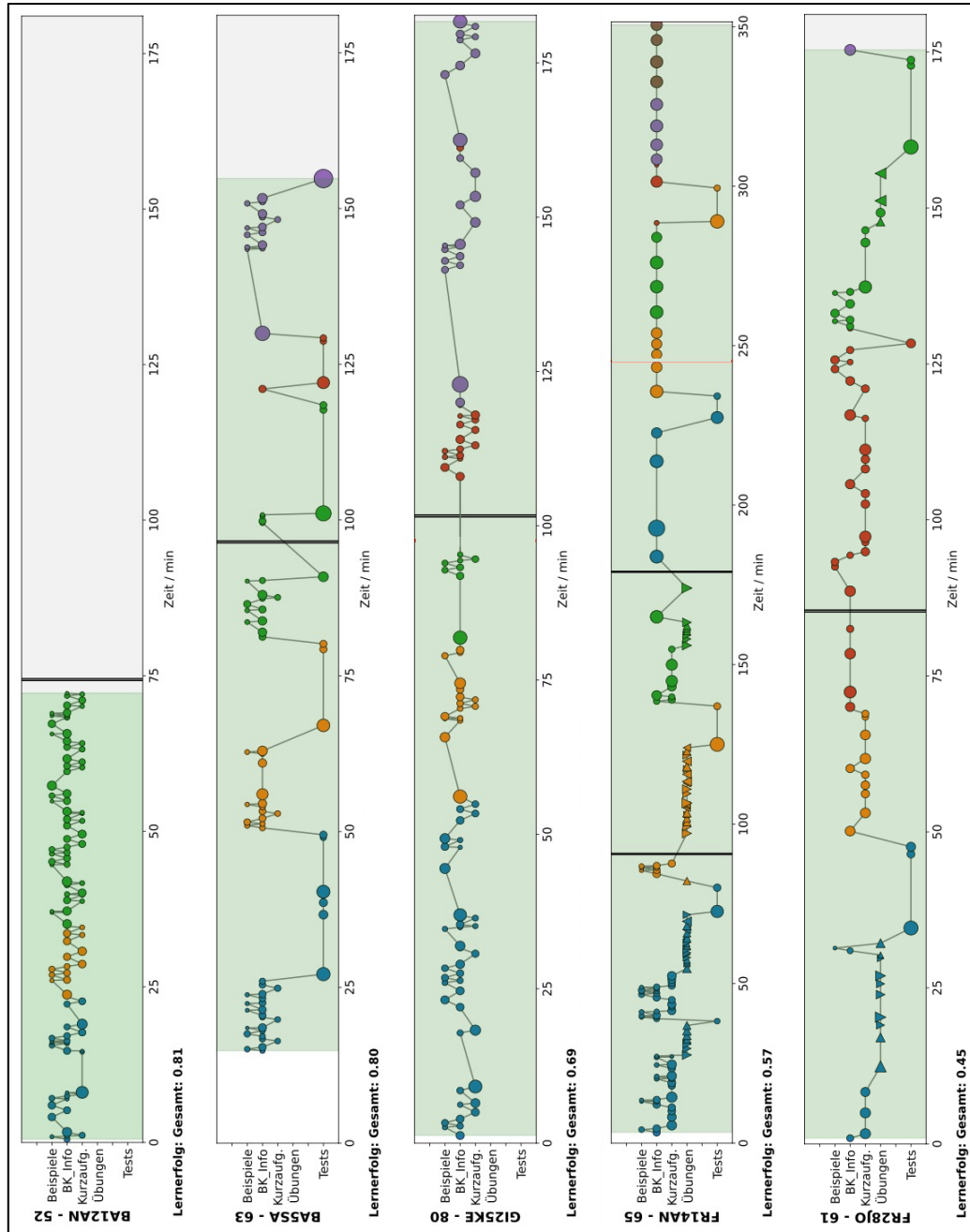


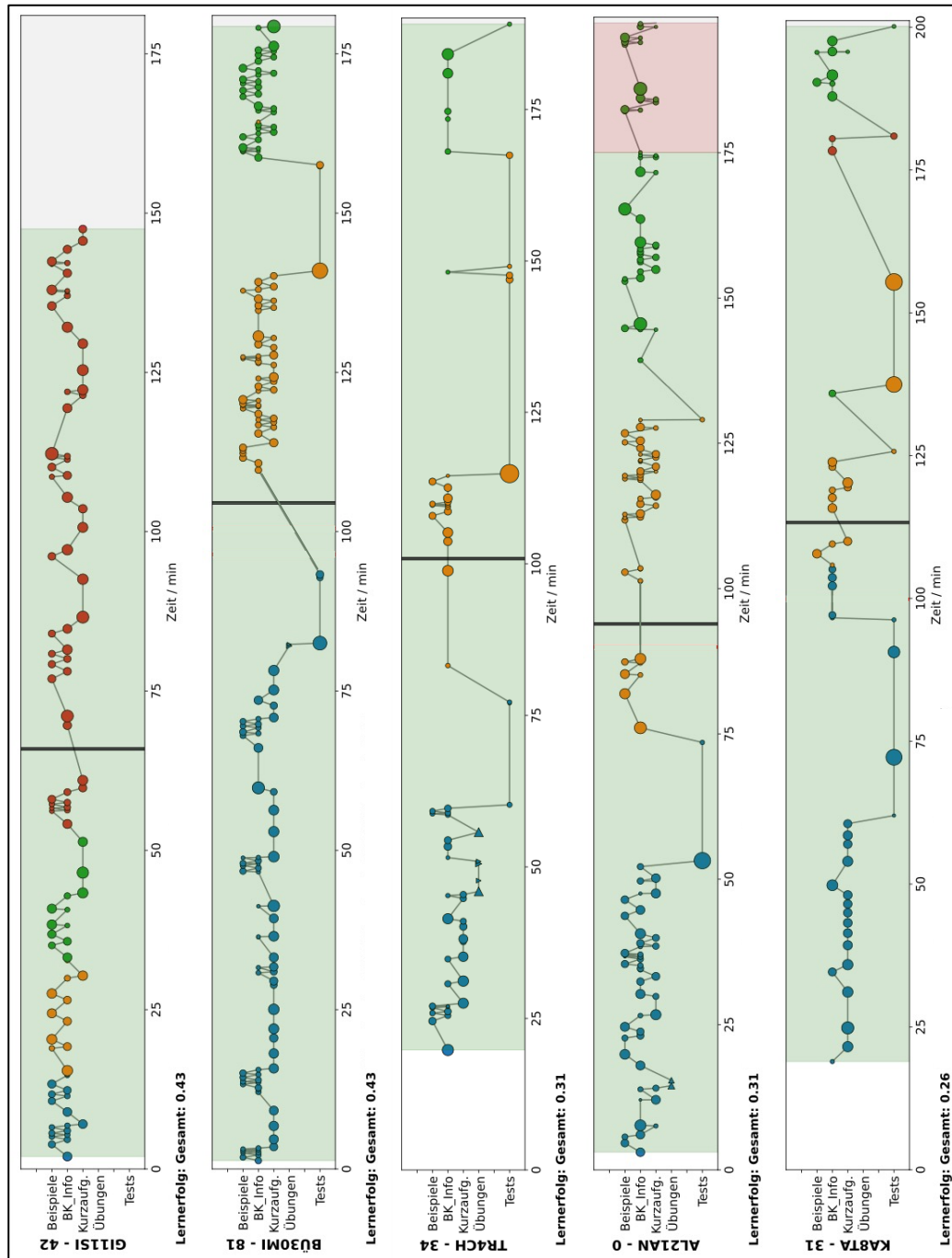
Anmerkung. $n = 12$. BK_Info: Instruktionstexte. Auf der Abszissenachse wird die Zeit in Minuten dargestellt. Die Farben der Kreise und Dreiecke beziehen sich auf die unterschiedlichen Themenblöcke. Die Größe der einzelnen Formen sowie der Abstand zwischen zwei Formen visualisiert die Zeit, die auf einer Seite verbracht wurde. Die Hintergrundfarbe stellt den Wissensbereich (Grundwissen oder erweitertes Wissen) dar. Die Lineplots sind nach dem berechneten Lernerfolg in absteigender Reihenfolge sortiert.

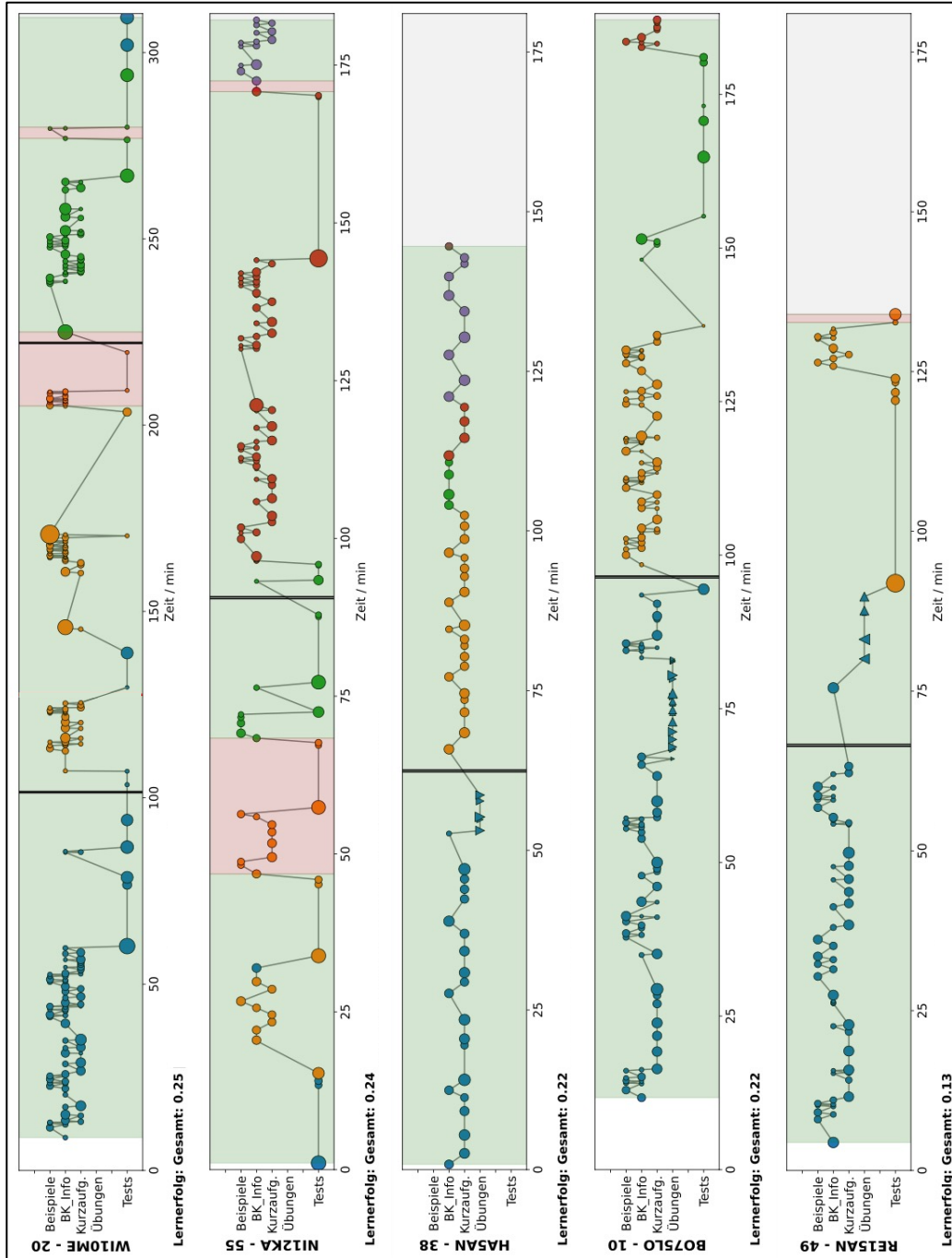
Abbildung C2
Lineplots der Lernenden der Gruppe „ewWi“

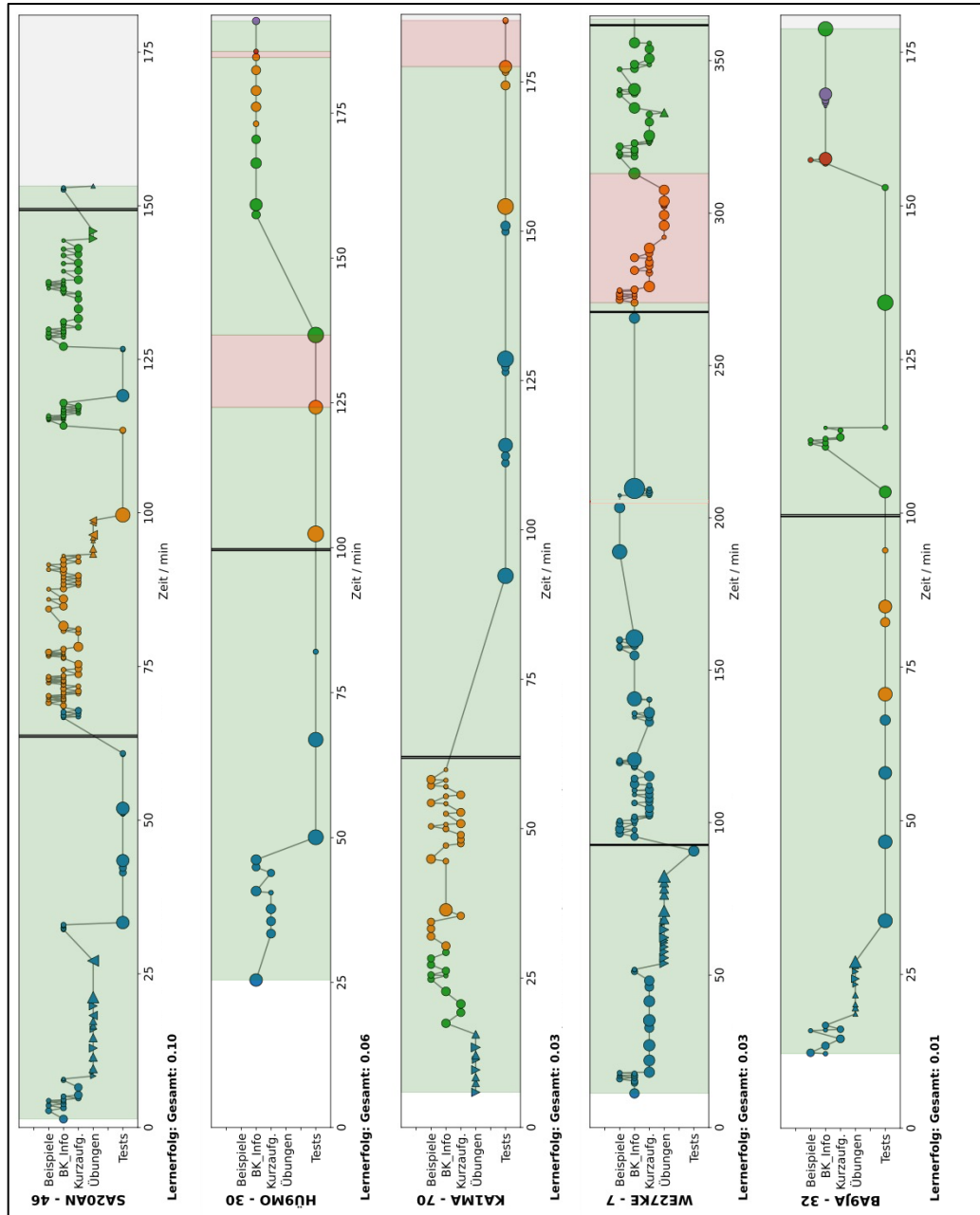


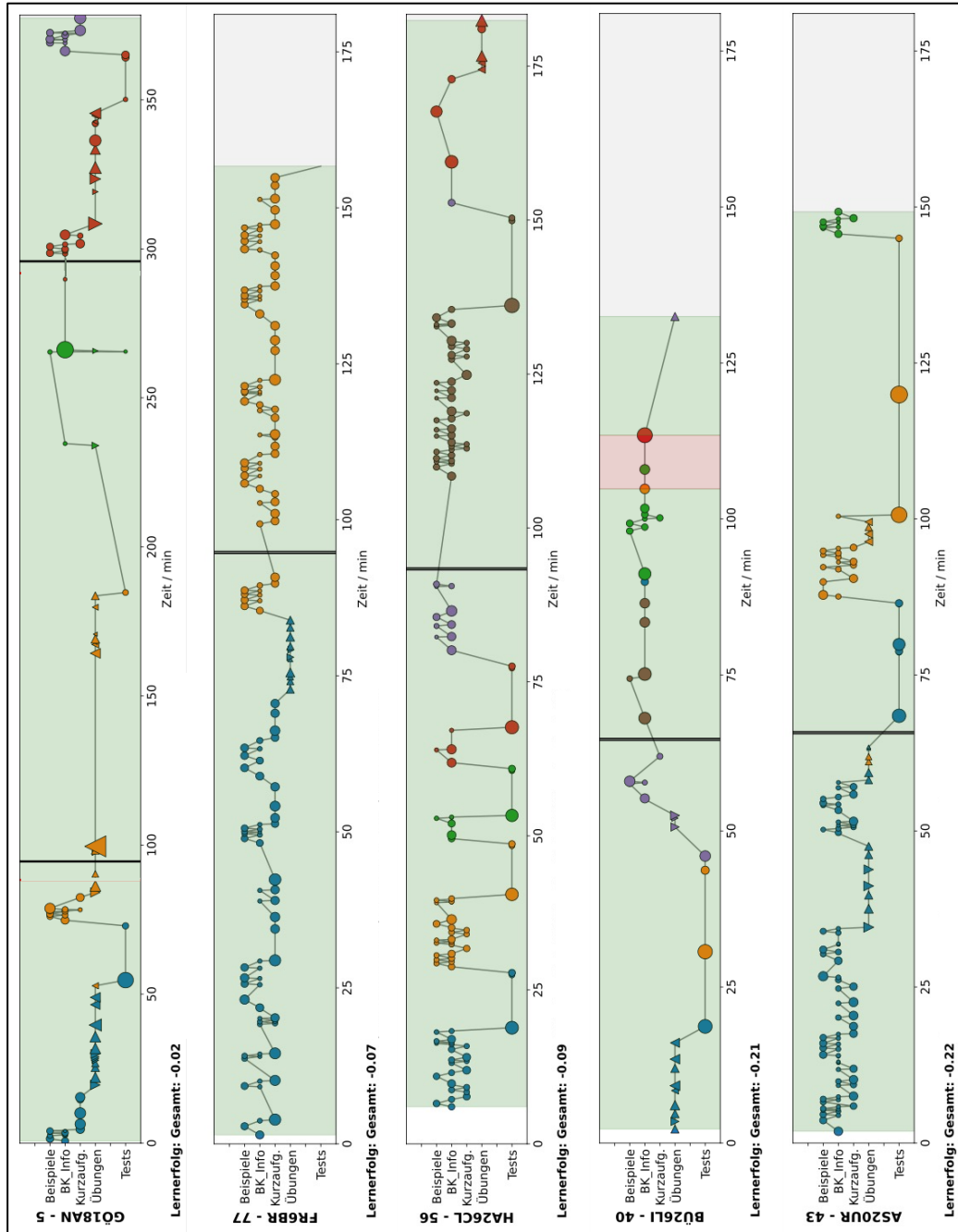


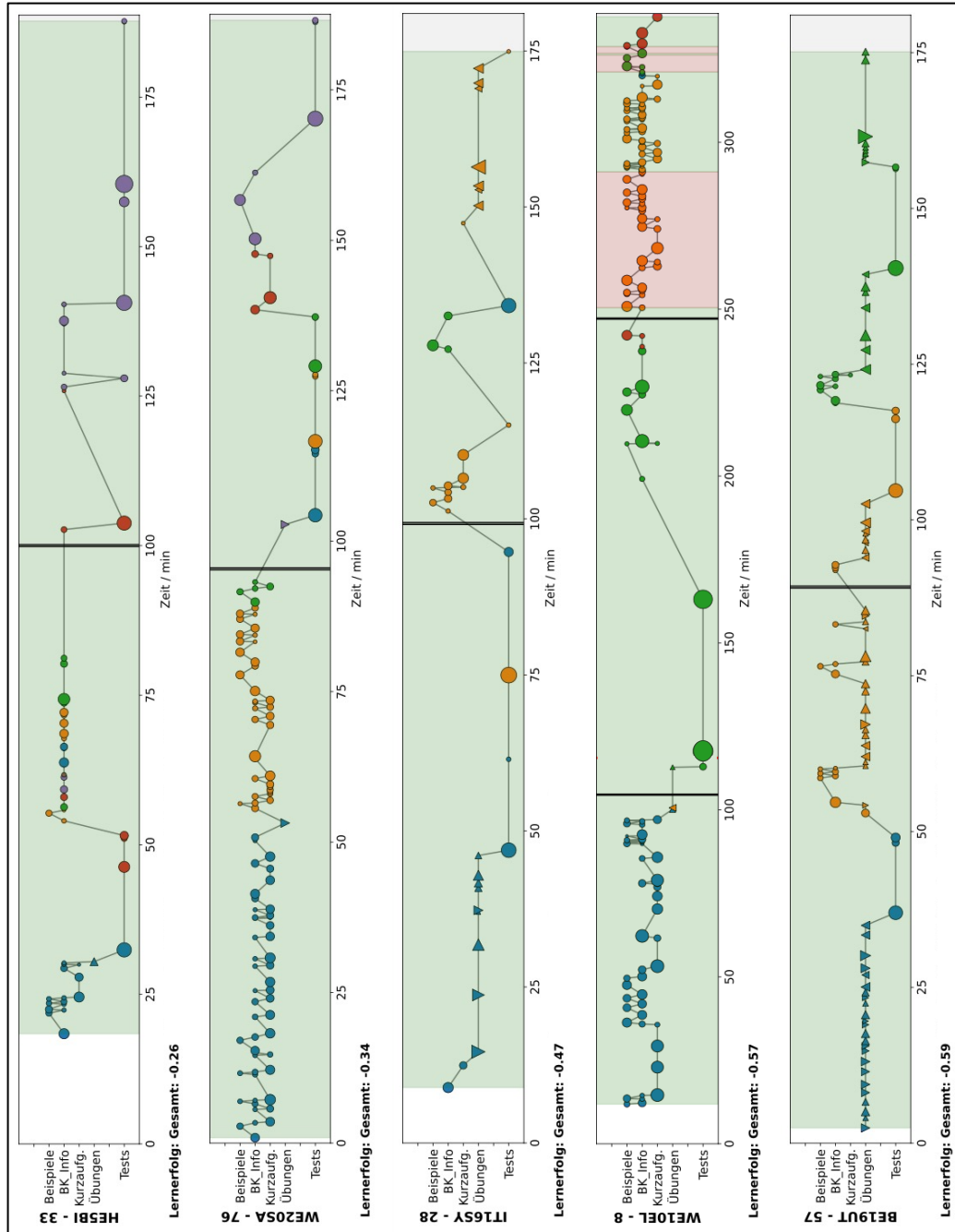


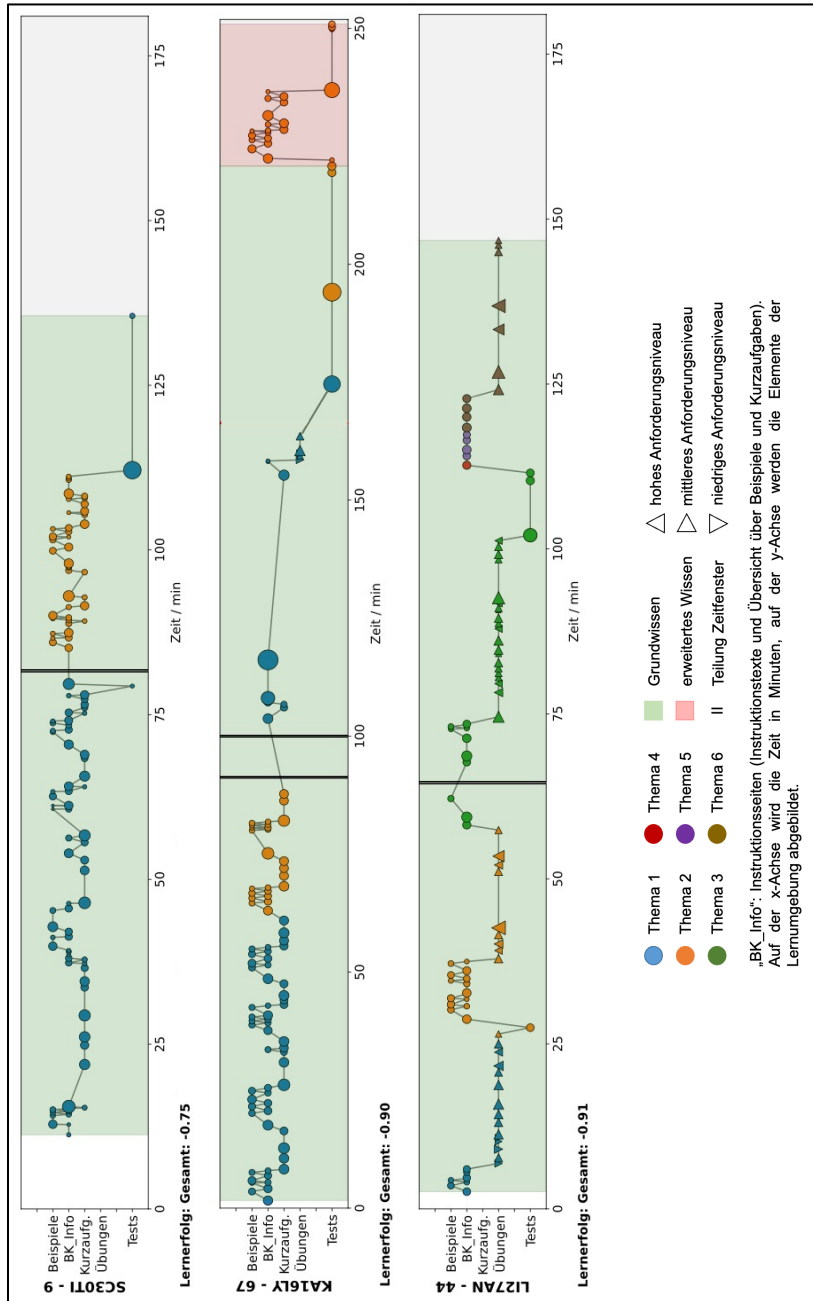










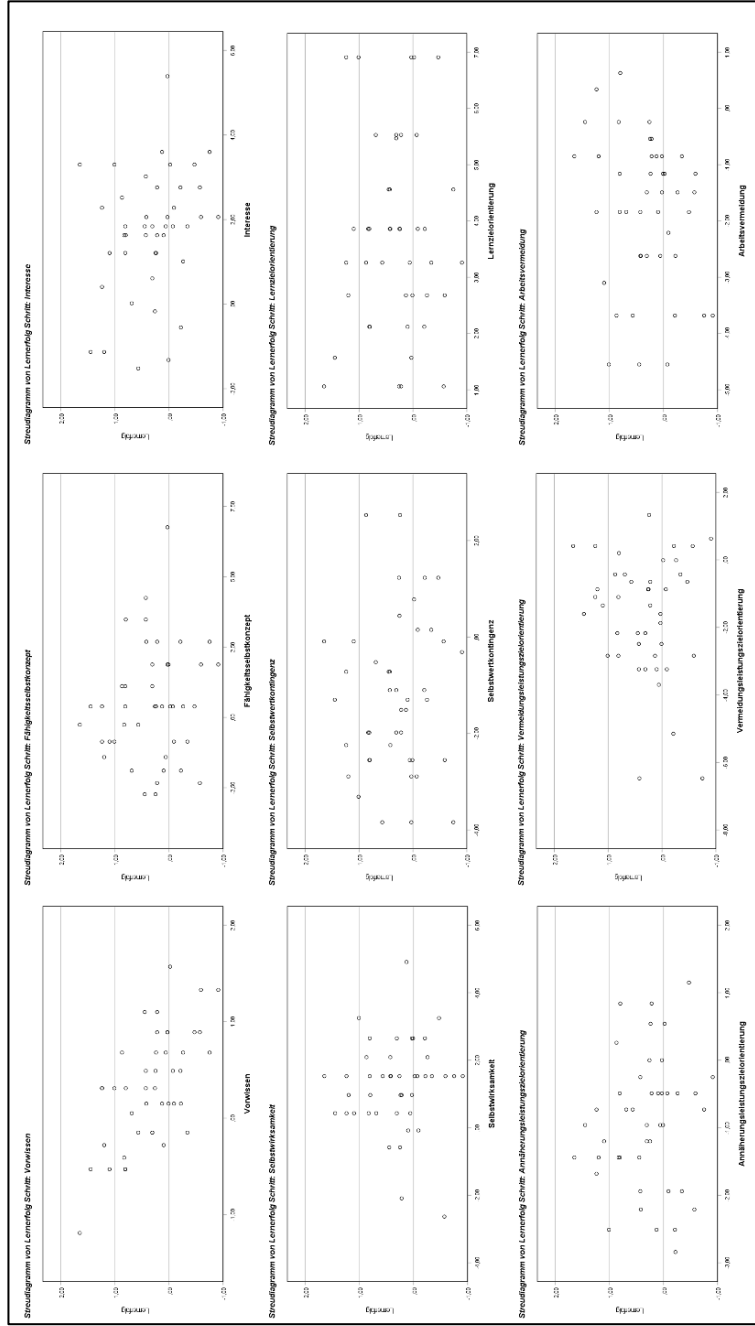


Anmerkung. $n = 43$. BK_Info: Instruktionstexte. Auf der Abzissenachse wird die Zeit in Minuten dargestellt. Die Farben der Kreise und Dreiecke beziehen sich auf die unterschiedlichen Themenblöcke. Die Größe der einzelnen Formen sowie der Abstand zwischen zwei Formen visualisiert die Zeit, die auf einer Seite verbracht wurde. Die Hintergrundfarbe stellt den Wissensbereich (Grundwissen oder erweitertes Wissen) dar. Die Lineplots sind nach dem berechneten Lernerfolg in absteigender Reihenfolge sortiert.

D: Streudiagramme

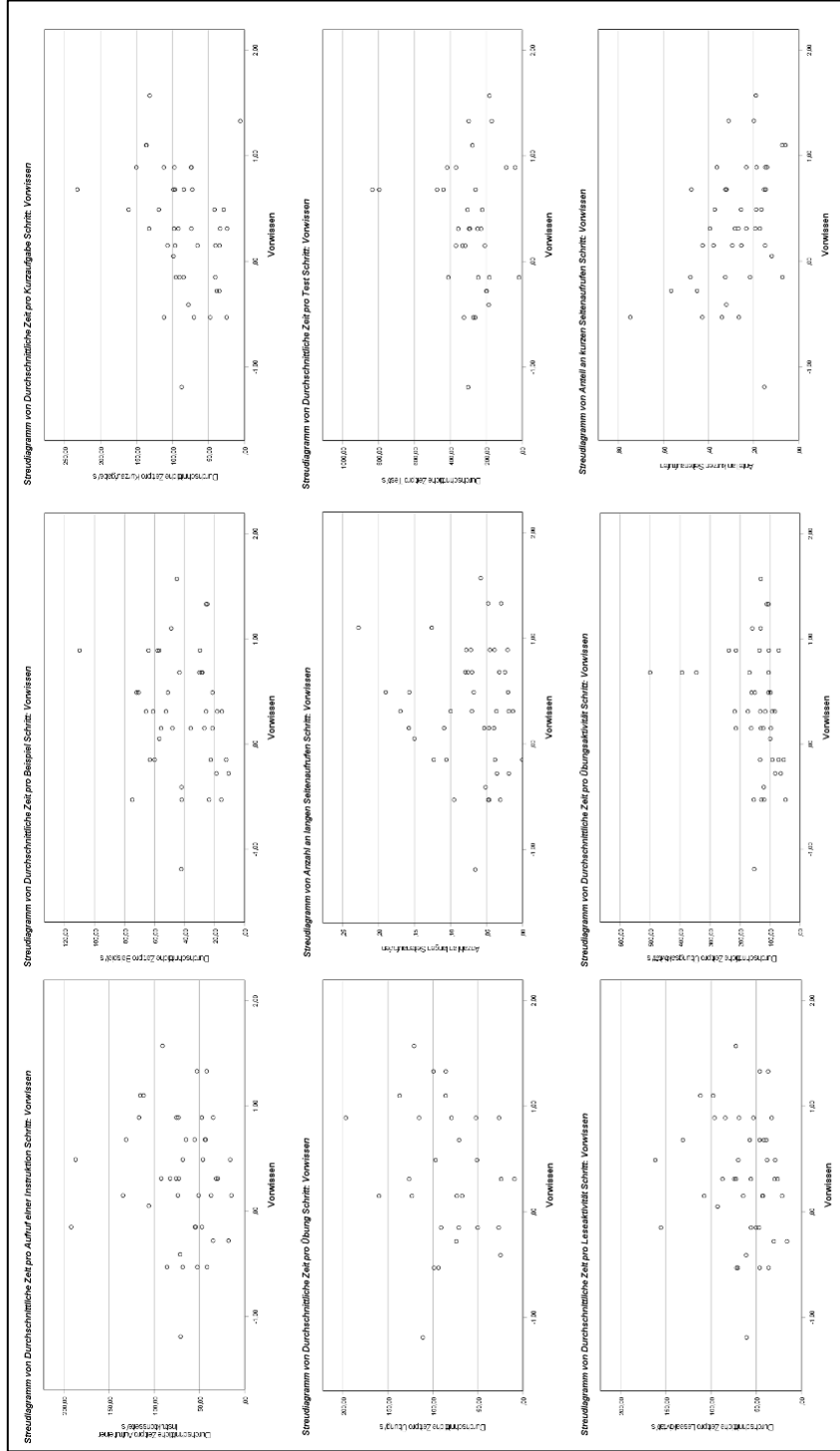
Abbildung D1

Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen den dispositionellen Ausprägungen und dem Lernerfolg



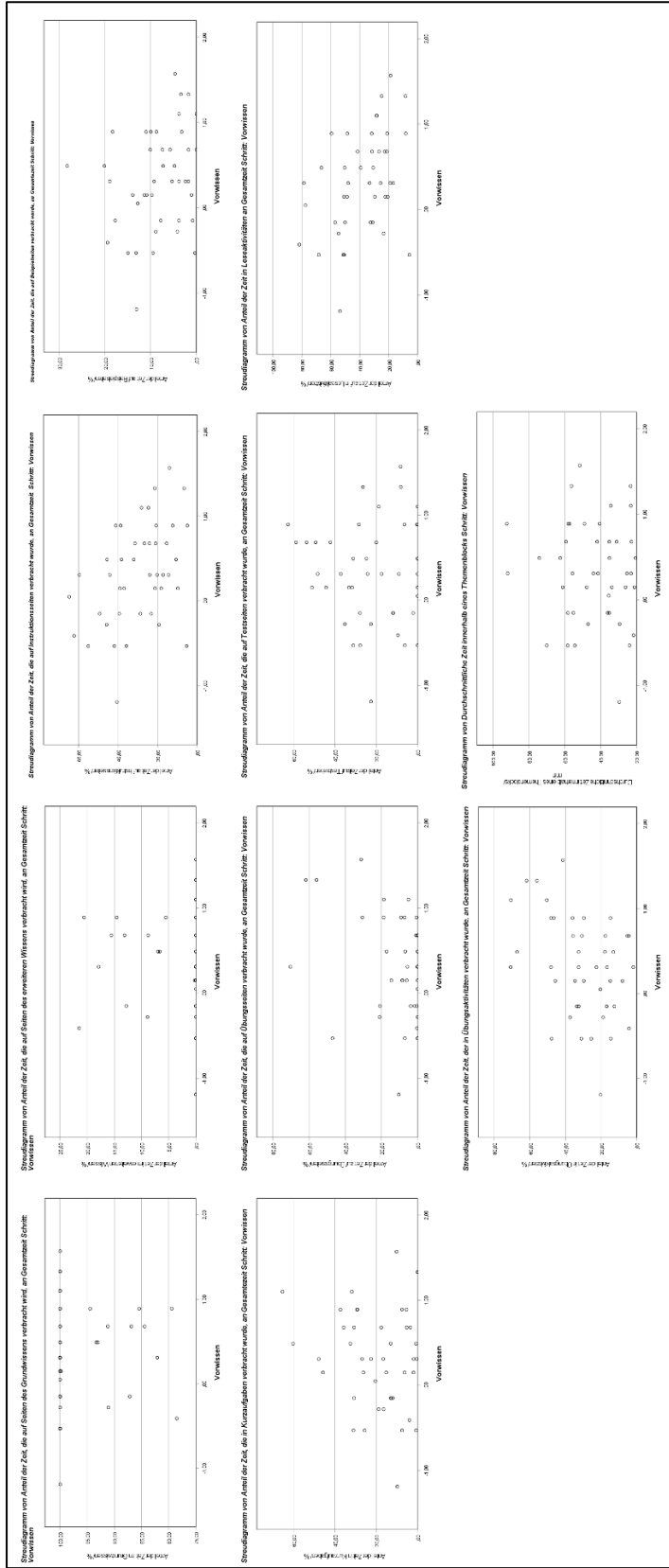
Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abszissenachse ist jeweils die mittels Rasch-Modell geschätzte Ausprägung (von links nach rechts, von oben nach unten): (1) des Vorwissens, (2) des Fähigkeitsselbstkonzepts, (3) des Interesses, (4) der Selbstwirksamkeit, (5) der Selbstwertkontingenz, (6) der Lernzielorientierung, (7) der Annäherungsleistungszienorientierung, (8) der Vermeidungsleistungszienorientierung und (9) der Arbeitsvermeidung aufgetragen. Auf der Ordinatenachse ist der berechnete Lernerfolg der Lernenden aufgetragen.

Abbildung D2
Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen dem Vorwissen und den Prozessmerkmalen auf Mikroebene



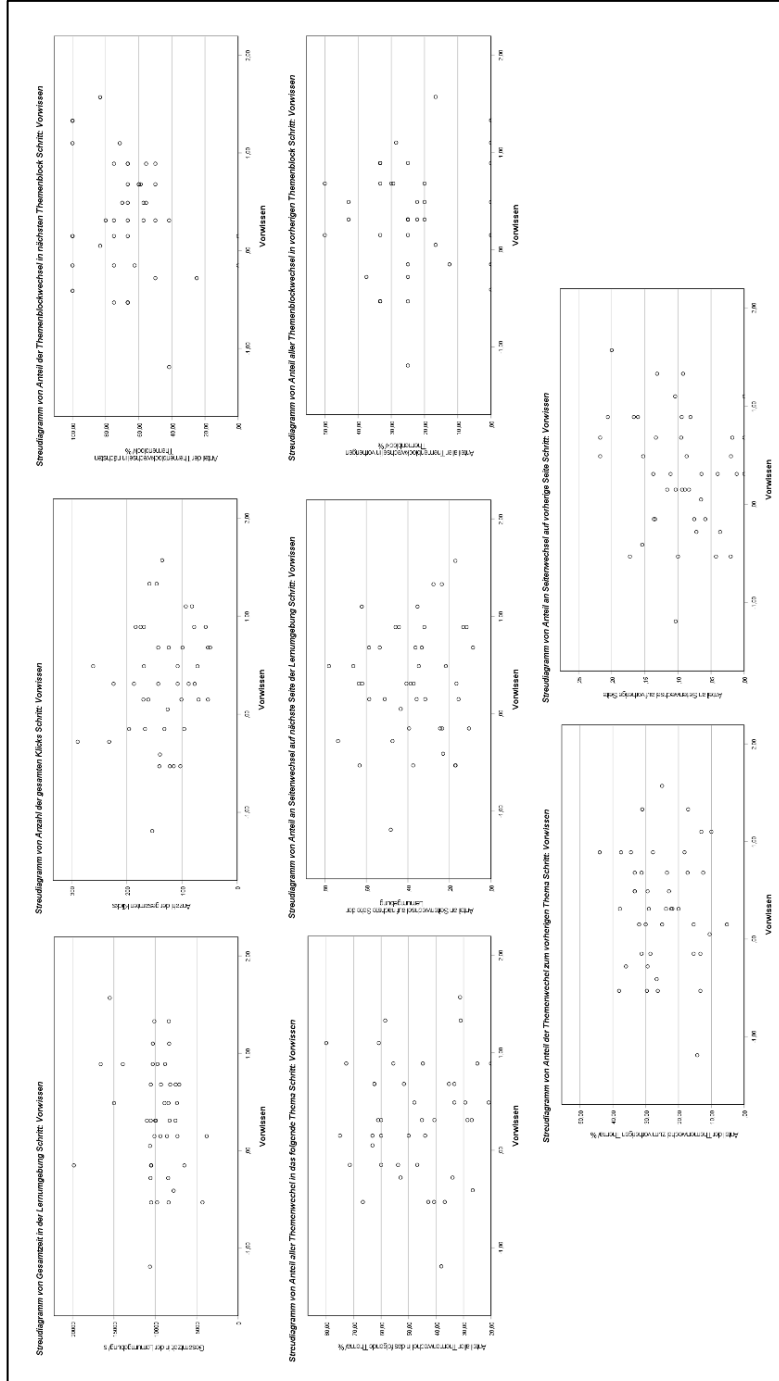
Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abzissenachse ist jeweils das mittels Rasch-Modell geschätzte Vorwissen der Lernenden aufgetragen. Auf der Ordinatenachse sind die Prozessmerkmale der Mikroebene (von links nach rechts, von oben nach unten) der durchschnittlichen Zeit auf (1) einer Instruktionseite, (2) einem Beispiel, (3) einer Kurzaufgabe, (4) einer Übung, (5) einem Test, (6) in einer Leseaktivität, (7) in einer Übungsaktivität in Sekunden und (8) der Anteil an langen Seitenaufrufen sowie (9) der Anteil an kurzen Seitenaufrufen in Prozent aufgetragen.

Abbildung D3
Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen dem Vorwissen und den Prozessmerkmalen auf Mesebene



Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abzissenachse ist jeweils das mittels Rasch-Modell geschätzte Vorwissen der Lernenden aufgetragen. Auf der Ordinatennachse sind die Prozessmerkmale der Mesebene (von links nach rechts, von oben nach unten) des relativen Anteils der Zeit in Prozent von der Gesamtzeit (1) im Grundwissen, (2) im erweiterten Wissen, (3) auf Instruktionssseiten, (4) auf Beispielseiten, (5) in Kurzaufgaben, (6) in Übungen, (7) in Tests, (8) in Lesetätigkeiten, (9) in Übungsaktivitäten und (10) die durchschnittliche Zeit innerhalb eines Themenblockes in Sekunden aufgetragen.

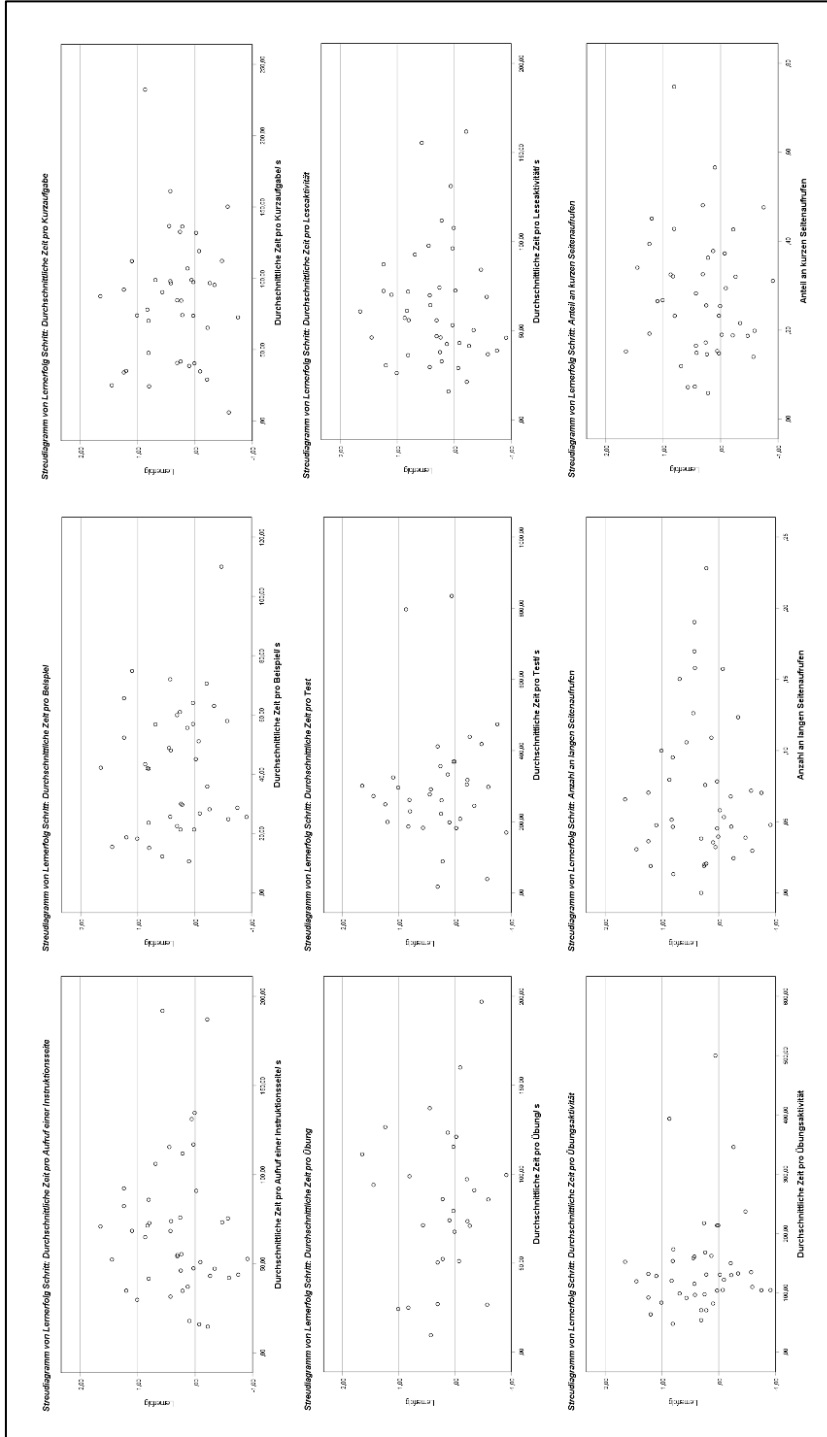
Abbildung D4
Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen dem Vorwissen und den Prozessmerkmalen auf Makroebene



Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abzissenachse ist jeweils das mittels Rasch-Modell geschätzte Vorwissen der Lernenden aufgetragen. Auf der Ordinatenachse sind die Prozessmerkmale der Mikroebene (von links nach rechts, von oben nach unten) der (1) Gesamtzeit in der Lernumgebung in Sekunden, (2) der Gesamtklicks als Absolutwert, (3) der Anteil der Themenblockwechsel in den folgenden Themenblock, (4) der Anteil der Themenwechsel in das folgende Thema, (5) der Anteil der Seitenwechsel auf die folgende Seite, (6) der Anteil der Themenblockwechsel in den vorherigen Themenblock, (7) der Anteil der Themenwechsel in das vorherige Thema und (8) der Anteil an Seitenwechseln auf die vorherige Seite in Prozent aufgetragen.

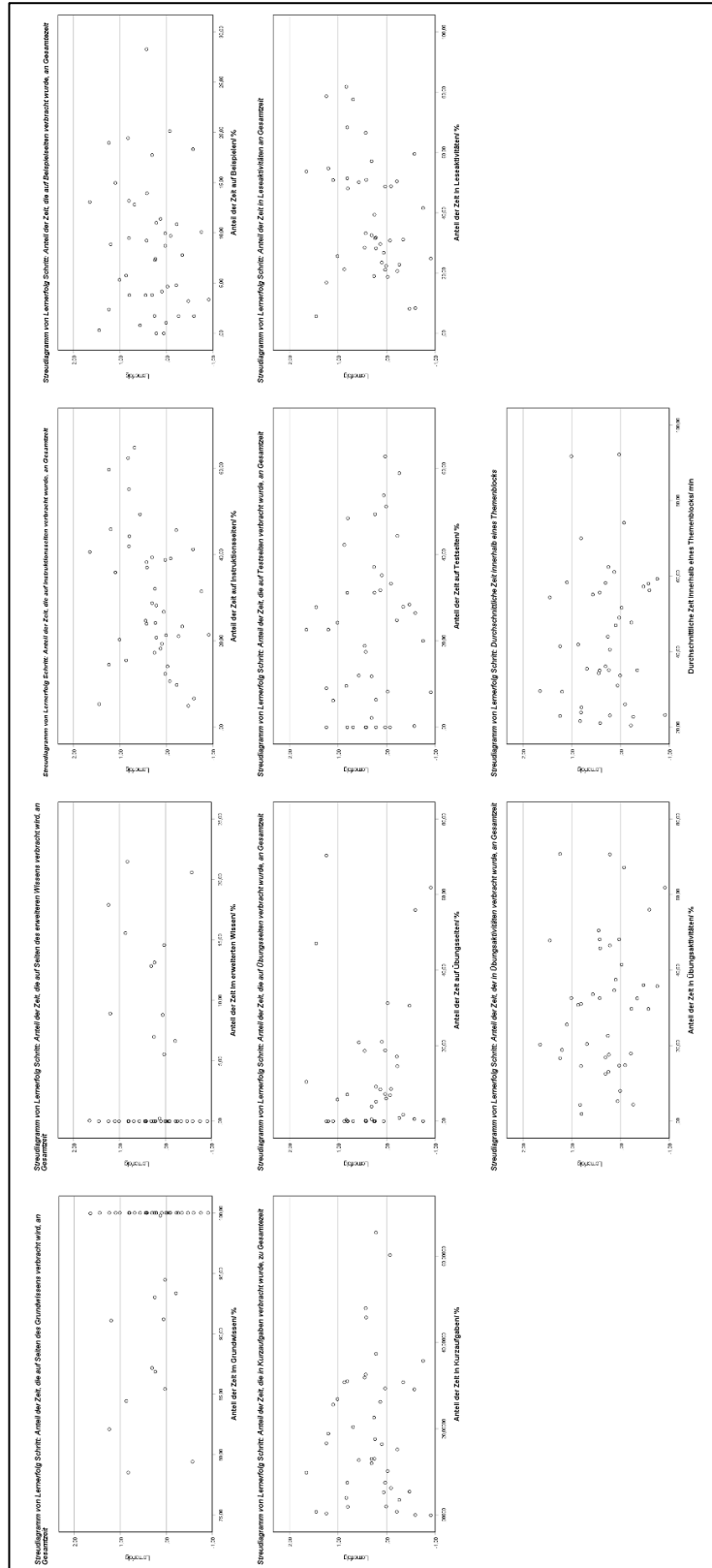
Abbildung D5

Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen den Prozessmerkmalen auf Mikroebene und dem Lernerfolg



Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abzissenachse sind die Prozessmerkmale der Mikroebene (von links nach rechts, von oben nach unten) der durchschnittlichen Zeit auf (1) einer Instruktionssseite, (2) einem Beispiel, (3) einer Kurzaufgabe, (4) einer Übung, (5) einem Test, (6) in einer Leseaktivität, (7) in einer Übungsaufgabe in Sekunden und (8) der Anteil an langen Seitenaufrufen sowie (9) der Anteil an kurzen Seitenaufrufen in Prozent aufgetragen. Auf der Ordinatenachse ist jeweils der berechnete Lernerfolg der Lernenden aufgetragen.

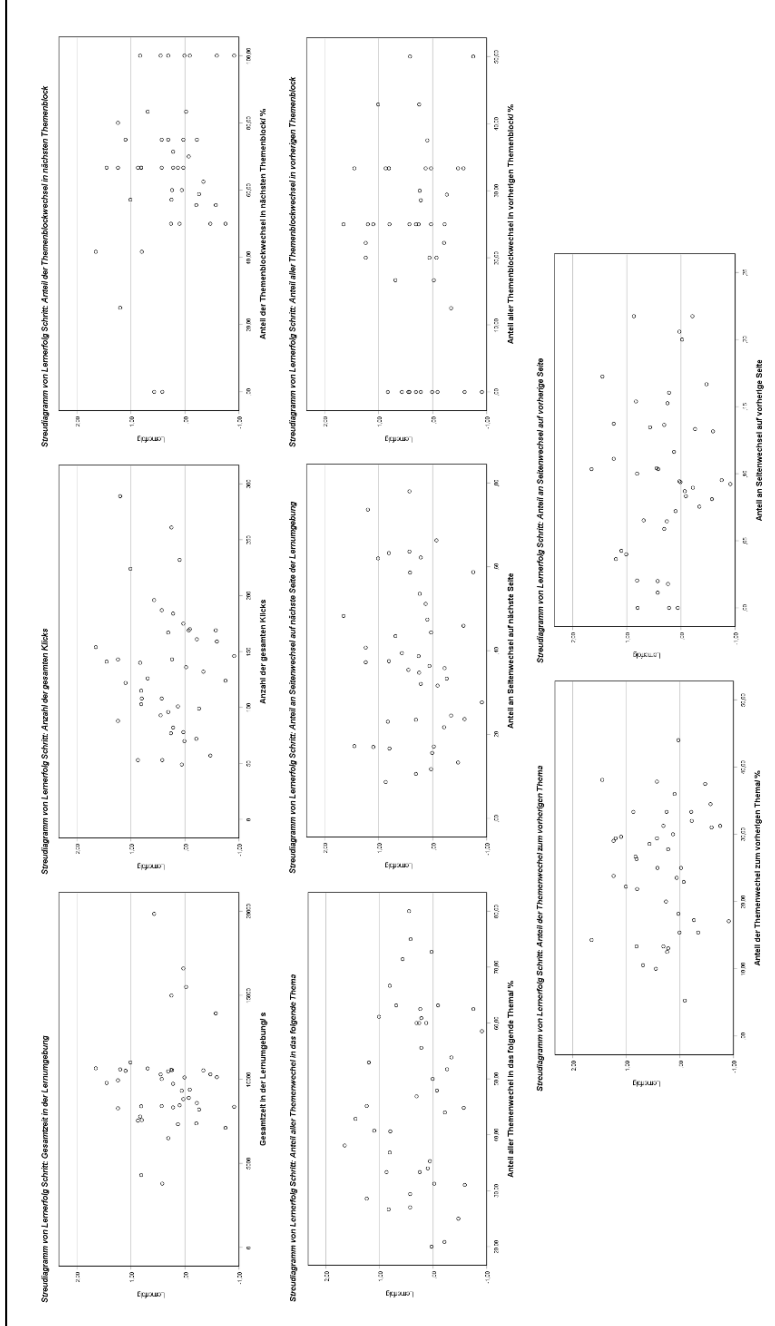
Abbildung D6
Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen den Prozessmerkmalen auf Mesebene und dem Lernerfolg



Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abszissenachse sind die Prozessmerkmale der Mesebene (von links nach rechts, von oben nach unten) des relativen Anteils der Zeit in Prozent von der Gesamtzeit (1) im Grundwissen, (2) im erweiterten Wissen, (3) auf Instruktionsseiten, (4) auf Beispielseiten, (5) in Kurzaufgaben, (6) in Übungen, (7) in Tests, (8) in Leseaktivitäten, (9) in Übungsaktivitäten und (10) die durchschnittliche Zeit innerhalb eines Themenblockes in Sekunden aufgetragen. Auf der Ordinatenachse ist der berechnete Lernerfolg der Lernenden aufgetragen.

Abbildung D7

Streudiagramme zu den Zusammenhängen zwischen den Prozessmerkmalen auf Makroebene und dem Lernerfolg



Anmerkung. $n = 43$. Lernende der Gruppe „hoWi“ werden hier nicht abgebildet. Auf der Abszissenachse sind die Prozessmerkmale der Mikroebene (von links nach rechts, von oben nach unten) der (1) Gesamtzeit in der Lernumgebung in Sekunden, (2) der Gesamtklicks als Absolutwert, (3) der Anteil der Themenblockwechsel in den folgenden Themenblock, (4) der Anteil der Themenwechsel in das folgende Thema, (5) der Anteil der Seitenwechsel auf die folgende Seite, (6) der Anteil der Themenblockwechsel in den vorherigen Themenblock, (7) der Anteil der Themenwechsel in das vorherige Thema und (8) der Anteil an Seitenwechseln auf die vorherige Seite in Prozent aufgetragen. Auf der Ordinatenachse ist der berechnete Lernerfolg der Lernenden aufgetragen.

E: Korrelationstabellen

Tabelle E1

Korrelationsanalyse zwischen den Prozessmerkmalen auf Mikroebene und den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden

Prozessmerkmale auf Mikroebene	Dispositionelle Ausprägungen										
	Prä	SW	SWK	Int	LZO	ALZO	VLZO	AV	FSK	LE	
Durchschnittliche Zeit pro Instruktion	<i>r</i>	0,021	0,134	0,105	-0,040	-0,040	-0,106	-0,219	-0,124	0,102	0,056
	<i>p</i>	0,890	0,334	0,444	0,772	0,770	0,447	0,109	0,369	0,462	0,722
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Durchschnittliche Zeit pro Beispiel	<i>r</i>	0,093	0,339	0,181	0,389	0,353	0,033	0,115	-0,061	0,208	-0,116
	<i>p</i>	0,544	0,015	0,200	0,005	0,010	0,820	0,418	0,666	0,144	0,471
	<i>n</i>	45	51	52	51	52	51	52	52	51	41
Durchschnittliche Zeit pro Kurzaufgabe	<i>r</i>	0,196	0,197	0,349	0,293	0,206	0,127	0,075	0,071	0,193	-0,049
	<i>p</i>	0,193	0,163	0,010	0,035	0,140	0,371	0,591	0,614	0,170	0,756
	<i>n</i>	46	52	53	52	53	52	53	53	52	42
Durchschnittliche Zeit pro Übung	<i>r</i>	0,079	0,321	0,313	0,313	0,185	0,208	-0,021	0,396	0,220	-0,099
	<i>p</i>	0,671	0,068	0,072	0,077	0,295	0,246	0,906	0,020	0,219	0,609
	<i>n</i>	31	33	34	33	34	33	34	34	33	29
Durchschnittliche Zeit pro Test	<i>r</i>	-0,019	0,306	0,070	0,062	-0,099	0,022	0,350	-0,279	0,185	-0,006
	<i>p</i>	0,910	0,043	0,650	0,692	0,521	0,886	0,020	0,066	0,229	0,971
	<i>n</i>	39	44	44	43	44	44	44	44	44	35
Durchschnittliche Zeit pro Leseaktivität	<i>r</i>	0,034	0,176	-0,083	0,030	0,001	-0,106	-0,224	-0,146	0,127	0,017
	<i>p</i>	0,819	0,203	0,548	0,831	0,996	0,443	0,100	0,287	0,359	0,912
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Durchschnittliche Zeit pro Übungsaktivität	<i>r</i>	0,212	0,214	0,397	0,276	0,138	0,217	0,107	0,142	0,235	-0,070
	<i>p</i>	0,153	0,124	0,003	0,045	0,320	0,118	0,442	0,307	0,090	0,654
	<i>n</i>	47	53	54	53	54	53	54	54	53	43
Anteil an langen Seitenaufrufen	<i>r</i>	0,017	0,167	-0,008	0,282	0,077	-0,073	-0,143	0,064	0,228	0,003
	<i>p</i>	0,912	0,228	0,955	0,039	0,575	0,602	0,299	0,641	0,097	0,982
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43

Prozessmerkmale der Mikroebene	Dispositionelle Ausprägungen										
	Prä	SW	SWK	Int	LZO	ALZO	VLZO	AV	FSK	LE	
Anteil an kurzen Seitaufrufen	<i>r</i>	0,341	0,051	-0,108	-0,124	-0,012	-0,095	-0,044	0,063	-0,034	0,071
	<i>p</i>	0,019	0,714	0,435	0,370	0,928	0,492	0,747	0,646	0,808	0,649
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43

Anmerkung. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, SWK: Selbstwertkontingenzen, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, FSK: Fähigkeitsselbstkonzept, LE: Lernerfolg. Für die Berechnung der Korrelation mittels des Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Variablen wurden zunächst Ausreißer bzgl. der jeweiligen dispositionellen Ausprägung, basierend auf einem festgelegten Cut-Off-Wert der z-standardisierten Variable, entfernt. Entfernt wurden in den einzelnen Berechnungen zum Vorwissen oder zum Lernerfolg zudem Lernende, deren Vorwissen oder Lernerfolg nicht reliabel und valide über den Fachwissenstest erfasst werden konnte.

Table E2

Korrelationsanalyse zwischen den Prozessmerkmalen auf Mesebene und den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden

Prozessmerkmale auf Mesebene	Dispositionelle Ausprägungen										
	Prä	SW	SWK	Int	LZO	ALZO	VLZO	AV	FSK	LE	
Anteil der Zeit im Grundwissen	<i>r</i>	0,347	-0,032	-0,139	-0,119	-0,103	-0,130	-0,175	0,163	-0,139	-0,077
	<i>p</i>	0,017	0,818	0,313	0,392	0,453	0,348	0,202	0,234	0,318	0,623
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil der Zeit im erweiterten Wissen	<i>r</i>	0,347	0,032	0,139	0,119	0,103	0,130	0,175	-0,163	0,139	0,077
	<i>p</i>	0,017	0,818	0,313	0,392	0,453	0,348	0,202	0,234	0,318	0,623
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil der Zeit in Instruktionen	<i>r</i>	-0,320	0,029	-0,127	-0,120	0,025	-0,279	-0,056	-0,065	-0,001	0,347
	<i>p</i>	0,028	0,834	0,357	0,386	0,855	0,041	0,687	0,638	0,994	0,023
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil der Zeit in Beispielen	<i>r</i>	-0,152	-0,004	0,002	0,194	0,214	-0,148	0,130	-0,139	0,031	0,143
	<i>p</i>	0,307	0,976	0,991	0,159	0,116	0,286	0,343	0,310	0,822	0,360
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil der Zeit in Kurzaufgaben	<i>r</i>	0,089	-0,200	-0,160	0,170	0,032	-0,088	-0,028	-0,064	-0,115	-0,027
	<i>p</i>	0,550	0,146	0,244	0,220	0,817	0,529	0,842	0,640	0,408	0,866
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil der Zeit in Übungen	<i>r</i>	0,126	-0,012	0,051	-0,047	-0,056	0,219	0,135	0,120	0,064	-0,125
	<i>p</i>	0,400	0,931	0,714	0,734	0,683	0,112	0,328	0,382	0,646	0,423
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43

Prozessmerkmale auf Mesoebene		Dispositionelle Ausprägungen										
		Prä	SW	SWK	Int	LZO	ALZO	VLZO	AV	FSK	LE	
Anteil der Zeit in Tests	<i>r</i>	-0,016	0,128	0,140	-0,056	-0,200	0,112	-0,093	0,061	0,019	-0,145	
	<i>p</i>	0,917	0,356	0,309	0,688	0,142	0,420	0,498	0,658	0,890	0,352	
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43	
Anteil der Zeit in Leseaktivitäten	<i>r</i>	-0,309	0,023	-0,103	-0,039	0,087	-0,275	-0,006	-0,096	0,009	0,326	
	<i>p</i>	0,035	0,871	0,453	0,778	0,530	0,044	0,968	0,486	0,949	0,033	
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43	
Anteil der Zeit in Übungsaktivitäten	<i>r</i>	0,200	-0,178	-0,087	0,098	-0,022	0,125	0,093	0,051	-0,038	-0,144	
	<i>p</i>	0,177	0,197	0,529	0,482	0,871	0,366	0,499	0,713	0,785	0,355	
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43	
Durchschnittliche Zeit innerhalb eines Themenblockes	<i>r</i>	0,121	-0,031	-0,215	0,160	0,202	0,117	0,143	-0,140	-0,233	-0,074	
	<i>p</i>	0,417	0,825	0,114	0,246	0,140	0,401	0,297	0,306	0,090	0,636	
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43	

Anmerkung. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, SWK: Selbstwertkonfingenz, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, FSK: Fähigkeitselbstkonzept, LE: Lernerfolg. Für die Berechnung der Korrelation mittels des Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Variablen wurden zunächst Ausreißer bzgl. der jeweiligen dispositionellen Ausprägung, basierend auf einem festgelegten Cut-Off-Wert der z-standardisierten Variable, entfernt. Entfernt wurden in den einzelnen Berechnungen zum Vorwissen oder zum Lernerfolg zudem Lernende, deren Vorwissen oder Lernerfolg nicht reliabel und valide über den Fachwissenstest erfasst werden konnte.

Tabelle E3

Korrelationsanalyse zwischen den Prozessmerkmalen auf Mikroebene und den dispositionellen Ausprägungen der Lernenden

Prozessmerkmale auf Makroebene	Dispositionelle Ausprägungen										
	Prä	SW	SWK	Int	LZO	ALZO	VLZO	AV	FSK	LE	
Anteil an Seitenwechsel auf nächste Seite	<i>r</i>	-0,017	-0,162	-0,256	0,005	-0,172	-0,155	-0,093	-0,167	-0,184	0,118
	<i>p</i>	0,908	0,243	0,060	0,971	0,210	0,262	0,502	0,222	0,184	0,449
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil an Themenwechsel in nächstes Thema	<i>r</i>	0,037	-0,012	-0,130	0,004	0,115	-0,064	-0,006	-0,114	0,011	-0,043
	<i>p</i>	0,806	0,931	0,343	0,978	0,402	0,644	0,965	0,406	0,935	0,785
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil an Themenblockwechsel in nächsten Themenblock	<i>r</i>	0,152	-0,181	0,068	-0,051	-0,013	0,152	0,251	0,031	-0,058	-0,193
	<i>p</i>	0,306	0,189	0,621	0,717	0,926	0,273	0,064	0,820	0,679	0,214
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Gesamtzeit in Lernumgebung	<i>r</i>	0,277	-0,162	-0,074	-0,138	0,080	0,110	0,329	-0,067	-0,281	-0,035
	<i>p</i>	0,060	0,242	0,591	0,319	0,561	0,428	0,014	0,627	0,039	0,824
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Gesamtklicks in Lernumgebung	<i>r</i>	-0,038	-0,347	-0,157	-0,260	-0,050	-0,092	0,276	0,012	-0,422	0,108
	<i>p</i>	0,800	0,010	0,252	0,057	0,716	0,510	0,041	0,928	0,001	0,490
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil an Seitenwechsel auf vorherige Seite	<i>r</i>	-0,062	0,199	0,179	0,075	0,199	0,107	0,087	0,041	0,154	-0,099
	<i>p</i>	0,681	0,149	0,191	0,589	0,146	0,441	0,530	0,768	0,266	0,528
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil an Themenwechsel in vorheriges Thema	<i>r</i>	0,075	-0,138	-0,046	-0,081	-0,092	-0,031	0,054	-0,026	-0,041	-0,100
	<i>p</i>	0,616	0,319	0,739	0,562	0,502	0,824	0,696	0,850	0,767	0,523
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43
Anteil an Themenblockwechsel in vorherigen Themenblock	<i>r</i>	-0,026	0,217	0,181	0,060	0,043	-0,006	0,011	-0,029	0,171	0,076
	<i>p</i>	0,860	0,116	0,186	0,664	0,753	0,965	0,937	0,836	0,216	0,629
	<i>n</i>	47	54	55	54	55	54	55	55	54	43

Anmerkung. Prä: Vorwissen, SW: Selbstwirksamkeit, SWK: Selbstwertkontingenzenz, Int: Interesse, LZO: Lernzielorientierung, ALZO: Annäherungsleistungszielorientierung, VLZO: Vermeidungsleistungszielorientierung, AV: Arbeitsvermeidung, FSK: Fähigkeitselbstkonzept, LE: Lernerfolg. Für die Berechnung der Korrelation mittels des Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Variablen wurden zunächst Ausreißer bzgl. der jeweiligen dispositionellen Ausprägung, basierend auf einem festgelegten Cut-Off-Wert der z-standardisierten Variable, entfernt. Entfernt wurden in den einzelnen Berechnungen zum Vorwissen oder zum Lernerfolg zudem Lernende, deren Vorwissen oder Lernerfolg nicht reliabel und valide über den Fachwissenstest erfasst werden konnte.

F: Regressionstabellen

Tabelle F1

Multiple lineare Regression zum Zusammenhang zwischen Vorwissen und Lernerfolg mittels Rückwärtseliminierung

Konstrukte	Model 1			Model 2			Model 3			Model 4			Model 5		
	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE	B	β	SE
Konstante	0,569	0,218		0,566	0,214		0,558	0,210		0,558	0,207		0,541	0,203	
Interesse	-0,009	0,064	-0,021												
Arbeits- vermeidung	0,020	0,067	0,044	0,019	0,065	0,042									
Fähigkeits- selbstkonzept	0,020	0,054	0,068	0,019	0,052	0,062	0,021	0,051	0,071						
Selbstwirksamkeit	-0,045	0,071	-0,101	-0,045	0,070	-0,101	-0,048	0,068	-0,108	-0,033	0,056	-0,074			
Selbstwert- kontingenz	-0,034	0,055	-0,092	-0,036	0,053	-0,095	-0,037	0,052	-0,098	-0,041	0,051	-0,109	-0,039	0,050	-0,105
Annäherungs- leistungsziel- orientierung	0,040	0,099	0,066	0,042	0,097	0,068	0,046	0,095	0,074	0,061	0,086	0,099	0,061	0,085	0,099
Lernziel- orientierung	0,051	0,051	0,145	0,049	0,048	0,139	0,046	0,046	0,131	0,042	0,045	0,119	0,037	0,043	0,104
Vermeidungs- leistungsziel- orientierung	0,069	0,058	0,202	0,070	0,056	0,207	0,076	0,053	0,222	0,068	0,049	0,200	0,072	0,048	0,210
Vorwissen	-0,714	0,157	-0,702	-0,721	0,148	-0,708	-0,731	0,141	-0,718	-0,720	0,137	-0,707	-0,711	0,135	-0,699

Konstrukte	Model 6		Model 7		Model 8		Model 9	
	B	SE	B	SE	B	SE	B	SE
Konstante	0,481	0,184	0,502	0,182	0,640	0,106	0,528	0,082
Interesse								
Arbeitsvermeidung								
Fähigkeits- selbstkonzept								
Selbstwirksamkeit								
Annäherungs- leistungsziel- orientierung								
Selbstwert- kontingenz	-0,040	0,050	-0,107					
Lernzielorientierung	0,039	0,043	0,111	0,114	0,040	0,043	0,040	0,114
Vermeidungs- leistungsziel- orientierung	0,083	0,045	0,243	0,196	0,067	0,040	-0,658	0,121
Vorwissen	-0,677	0,125	-0,665	-0,673	-0,685	0,124	0,066	0,193
							-0,645	0,123
								-0,634

Anmerkung. $n = 43$. Modelle ermittelt über eine Rückwärtseliminierung von Variablen.

Danksagung

In den letzten Jahren durfte ich eine Reihe von besonderen Menschen kennenlernen, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. In erster Linie möchte ich mich bei meiner Betreuerin und Mentorin Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter sowie meinem Betreuer Prof. Dr. Andreas Vorholzer bedanken, die beide einen erheblichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben. Nicht nur durch die Vielzahl an Gesprächen, Diskussionen und Beratungen, sondern auch durch Eure kreativen, umfassenden, vorausschauenden und cleveren Ideen habt Ihr diese Arbeit maßgeblich beeinflusst.

Zudem möchte ich mich bei Prof. Dr. Joachim Stiensmeier-Pelster, Prof. Dr. Alexander Eitel und Anna für den interdisziplinären Austausch innerhalb des gemeinsamen DFG-Projekts, die gemeinsamen Gespräche und die Unterstützung bedanken. Der Austausch mit Euch hat nicht nur besonders viel Spaß gemacht, sondern war auch für das gesamte Projekt und die daraus entstandene Arbeit gewinnbringend! Vielen lieben Dank!

Großer Dank gebührt auch Prof. Dr. Claudia Höhne, die diese Arbeit begutachtet und den Vorsitz der Prüfungskommission übernommen hat.

Ein besonderes Dankeschön gilt den (ehemaligen) Mitgliedern der Arbeitsgruppe des Instituts für Didaktik der Physik der Justus-Liebig-Universität Gießen. Liebe Verena, Nina, Anna, Julia, Kathi, Ann-Kathrin, Svenja, Sandra, Sabrina, Romy und Edith, lieber Lukas, Christoph, Jan, Matthias und Jörn, herzlichen Dank für Eure ständige Unterstützung! Trotz meiner häufigen beruflich bedingten Abwesenheit konnte ich mich stets auf Eure umfängliche Unterstützung verlassen. Ihr wart stets zur Stelle und habt immer wieder durch Eure Ideen, Euer Engagement und Eure Kreativität die Arbeit beeinflusst. Der Austausch mit Euch war mir stets eine Freude!

Vielen Dank an die Studierenden, die in den letzten Jahren am Vorkurs zur Mechanik teilgenommen haben und deren Daten ich aufzeichnen und auswerten durfte.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich auf unterschiedliche Weisen im Laufe der letzten Jahre immer wieder unterstützt haben. Herzlichen Dank an Anja, Bodo, Chris, Janina, Ingrid, Erhard, Theresia, Ewald, Anneliese, Tim, Till, Pita, Vinci, Jan, Fynn, Markus, Alex, Franzi, Ulla und Mario!
