JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Interdisziplinarität in schulischer und hochschulischer Lehre

Eine vergleichende Betrachtung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an den naturwissenschaftlichen Fachbereichen der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Jennifer Blank

aus Ehringshausen

Angefertigt am Institut für Anorganische und Analytische Chemie, am Institut für Organische Chemie sowie in Zusammenarbeit mit dem Institut für Evangelische Theologie der Justuts-Liebig-Universität Gießen

Gießen 2013

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Anorganische und Analytische Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen unter der Anleitung von Prof. Dr. S. Schindler sowie unter der Anleitung von Prof. Dr. R. Göttlich vom Institut für Organische Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen erstellt. Die Durchführung wurde ebenfalls von Apl. Prof. Dr. W. Achtner vom Institut für Evangelische Theologie betreut.

1. Gutachter: Prof. Dr. S. Schindler
Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Justus-Liebig-Universität Gießen

Prof. Dr. R. Göttlich
Institut für Organische Chemie
Justus-Liebig-Universität Gießen

2. Gutachter: Apl. Prof. Dr. W. Achtner
Institut für Evangelische Theologie
Justus-Liebig-Universität Gießen

INHALTSVERZEICHNIS

KAPITEL 1 – Einleitung **1**

1.1 Disziplinen und Interdisziplinarität…… **2**
1.2 Interdisziplinarität in der Lehre…… **6**
1.3 Fragestellung und Methode…… **12**

KAPITEL 2 - Der Zusammenhang zwischen Naturwissenschaft und Ethik im historischen Verlauf **17**

2.1 Antike…… **18**
2.1.1 Der atomistische Materialismus nach Demokrit 18
2.1.2 Die platonische Naturphilosophie 24
2.1.3 Die Wissenschaftstheorie des Aristoteles 31
2.1.4 Die stoische Physik 42

2.2 Wissenschaftliche Revolution…… **51**
2.2.1 Die Naturwissenschaft Galileo Galileis 51
2.2.2 Der Zweck der Naturwissenschaft nach Bacon 62
2.2.3 Das Wissenschaftssystem nach Descartes 73
2.2.4 Newton als Wissenschaftler und Magier 84

2.3 Neuzeit…… **96**
2.3.1 Immanuel Kant 96
2.3.2 Die moderne Naturwissenschaft 118
2.3.3 Neuere Ansätze und der Begriff der Interdisziplinarität 130

KAPITEL 3 - Empirische Erhebungen: Metaebene bzw. Anayseebene empirischer Didaktik **145**

3.1 Empirische Erhebung unter SchülerInnen…… **146**
3.1.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption und Erhebungsmethode 146

3.1.2 Ergebnisse 147
3.1.2.1 Lieblingsfach 147
3.1.2.2 Zuordnung von Themen zu Fächern 152
3.1.2.3 Erstellung der Einstellungsvariablen 158
3.1.2.4 Einstellungsvariablen in Hinsicht auf die Gruppen der SuS 160
3.1.2.5 Einstellungsvariablen in Bezug auf unterschiedliche Schulformen 162
3.1.2.6 Einstellungsvariablen in Hinsicht auf unterschiedliche Jahrgänge 164
3.1.2.7 Einstellungsvariablen in Hinsicht auf das Lieblingsfach 168

3.2 Empirische Erhebung unter LehrerInnen…… **169**
3.2.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption und Erhebungsmethode 169
3.2.2 Ergebnisse 171
3.2.2.1 Häufigkeiten 171
3.2.2.2 Realisierter fächerübergreifender Unterricht 177

3.3 Empirische Erhebung unter Studierenden des Lehramts…… **183**
3.3.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption und Erhebungsmethode 183
3.3.2 Ergebnisse 186
3.3.2.1 Die Einstellungskategorien 186
3.3.2.2 Vergleich zwischen den Einstellungskategorien und „Interdisziplinarität im Studium“ 189
3.3.2.3 Vergleich der Kategorien mit der Fächerkombination und dem studierten Lehramt 193
3.3.2.4 Betrachtung der Chemiestudierenden 197
3.3.2.5 Schlussfolgerungen 198

3.4 Empirische Erhebung unter Doktorandinnen und Doktoranden…… **200**
3.4.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption, Erhebungsmethode 200
3.4.2 Ergebnisse 204
3.4.2.1 Teilnehmer und Teilnehmerinnen 204
3.4.2.2 Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fächern/Fachbereichen 208
3.4.2.3 Forschungsziele 210
3.4.2.4 Sinn von Interdisziplinarität 212
3.4.2.5 Das Konzept von Interdisziplinarität 214
3.4.2.6 Lehre an der Universität 216
3.4.2.7 Sinn und Relevanz von Lehre 218
3.4.2.8 Interdisziplinarität in der Lehre 222

3.5 Vergleich und Zusammenhänge der empirischen Erhebungen…….. **225**

KAPITEL 4 - Planungsebene empirischer Didaktik: Material für den Unterricht **229**

4.1 EnergEthik…… **230**

4.1.1 Projektbeschreibung und Projektziele 230

4.1.1.1 Der fachwissenschaftliche Inhalt *232*

4.1.1.2 Projektidee *234*

4.1.1.3 Die Zielgruppe *235*

4.1.1.4 Einbindung der Schülerinnen und Schüler *235*

4.1.1.5 Das Schülerlabor, die Kinder-Uni und Kooperartionspartner *236*

4.1.1.6 Ziele *237*

4.1.2 Reflexion des Schülerlabors 238

4.1.3 Unterrichtsmaterial: Kernkraft 273

4.1.3.1 Kompetenzerwerb *273*

4.1.3.2 ***Teil 1:*** *Instabil: Warum Uran nicht bleibt wie es ist* *275*

4.1.3.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Instabil – Warum Uran nicht bleibt wie es ist“ *279*

4.1.3.4 ***Teil 2:*** *Wie ein Atomkraftwerk funktioniert* *283*

4.1.3.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Wie ein Atomkraftwerk funktioniert“ *282*

4.1.3.6 ***Teil 3:*** *Radioaktiver Müll* *294*

4.1.3.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Radioaktiver Müll“ *298*

4.1.3.8 Literaturempfehlung zum Thema Kernkraft *300*

4.1.4 Unterrichtsmaterial: Brennstoffzellentechnik 301

4.1.4.1 Kompetenzerwerb *301*

4.1.4.2 ***Teil 1:*** *Wasser als Abfallprodukt – eine wissenschaftliche Leistung* *303*

4.1.4.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Wasser als Abfallprodukt – eine wissenschaftliche Leistung“ *308*

4.1.4.4 ***Teil 2:*** *Wasserstoffgas und andere Energieträger* *310*

4.1.4.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Wasserstoffgas und andere Energieträger“ *318*

4.1.4.6 ***Teil 3:*** *Elektroautos und Hybride* *319*

4.1.4.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Elektroautos und Hybride“ *323*

4.1.4.8 Literaturempfehlungen zum Thema „Brennstoffzellentechnik“ *324*

4.1.5 Unterrichtsmaterial: Erdöl 325

4.1.5.1 Kompetenzerwerb *325*

4.1.5.2 ***Teil 1:*** *Das schwarze Gold* *327*

4.1.5.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Das schwarze Gold“ *337*

4.1.5.4 ***Teil 2:*** *Lebe wohl, Erdöl?!* *340*

4.1.5.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Lebe wohl, Erdöl?!“ *347*

*4.1.5.6 **Teil 3:** Synthetisches Öl* *350*
4.1.5.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Synthetisches Öl“ *355*
4.1.5.8 Literaturempfehlung zum Thema „Erdöl“ *355*

4.1.6 Unterrichtsmaterial: Energie und Gesellschaft 356
4.1.6.1 Kompetenzerwerb *356*
*4.1.6.2 **Teil 1:** Was hat Energie mit dem Treibhauseffekt zu tun?* *359*
4.1.6.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Was hat Energie mit dem Treibhauseffekt zu tun?“ *371*
*4.1.6.4 **Teil 2:** Die Kohleindustrie* *374*
4.1.6.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Die Kohleindustrie“ *382*
*4.1.6.6 **Teil 3:** Wird Strom zum Luxusgut?* *385*
4.1.6.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Wird Strom zum Luxusgut?“ *387*
4.1.6.8 Literaturempfehlungen „Energie und Gesellschaft“ *389*

4.1.7 Unterrichtsmaterial: Erfahrbare Energie 390
4.1.7.1 Kompetenzerwerb *391*
*4.1.7.2 **Teil 1:** Energie mit allen Sinnen* *392*
4.1.7.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Energie mit allen Sinnen“ *395*
*4.1.7.4 **Teil 2:** Kann man Energie Essen?* *397*
4.1.7.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Kann man Energie essen?“ *408*
*4.1.7.6 **Teil 3:** Ein Tag ohne Energie* *412*
4.1.7.7 Literaturempfehlung „Erfahrbare Energie“ *419*

4.2 Inhalt und Konzeption Wissenschaftsethik…… **421**

4.2.1 **Baustein A:** Warum geht uns Wissenschaft etwas an? Praxisbeispiel Technik 425
4.2.1.1 Baustein A1: Technik in unserem Alltag *426*
4.2.1.2 Baustein A2: Technik als Segen für die Gesellschaft *428*
4.2.1.3 Baustein A3: Wissen und Wissenschaft *432*
4.2.1.4 Baustein A4: Naturwissenschaft vs. Geisteswissenschaft *436*

4.2.2 **Baustein B:** Wissenschaftliche Methoden - Praxisbeispiel Plagiate 439
4.2.2.1 Baustein B1: Daten und Theorien *440*
4.2.2.2 Baustein B2: Empirie und Falsifikation. Die Funktion der Daten im wissenschaftlichen Prozess *444*
4.2.2.3 Baustein B3: Plagiieren *448*

4.2.3 **Baustein C:** Verantwortung – Praxisbeispiel Natur 451
4.2.3.1 Baustein C1: Natur – Umwelt – Ethik: Natur schützen – aber warum? *452*
4.2.3.2 Baustein C2: Der Begriff Verantwortung *545*
4.2.3.3 Baustein C3: Das Verantwortungssubjekt in Alltag und Wissenschaft *458*
4.2.3.4 Baustein C4: Das Verantwortungsobjekt am Beispiel der Natur *464*
4.2.3.5 Baustein C5: Pflicht zur Verantwortung für zukünftige Generationen? *468*

4.2.4 **Baustein D:** Probleme der Wissenschaftsethik - Praxisbeispiel Gentechnik 471
4.2.4.1 Baustein D1: Ethik als Spaßbremse für die Wissenschaft? 472
4.2.4.2 Baustein D2: Die Freiheit der Forschung 474
4.2.4.3 Baustein D3: Probleme der Bioethik am Beispiel der Gentechnik 476
4.2.4.4 Baustein D4: Folgenabschätzung des technischen Fortschritts 480

4.2.5 **Baustein E :**Ergänzungen: Wissenschaftsethik konkret 483
4.2.5.1 Baustein E1: Technik 484
4.2.5.2 Baustein E2: Plagiate 488
4.2.5.3 Baustein E3: Umweltethik: Die Stellung von Tier und Mensch 490
4.2.5.4 Baustein E4: Gentechnik 496

4.2.6 Literaturempfehlungen Wissenschaftsethik 500

KAPITEL 5 - Zusammenfassung und Fazit 503

KAPITEL 6 - Literatur 512

Danksagung 521
Curriculum Vitae 522
Eidesstattliche Erklärung 525

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Ebenen der Pädagogik. SuS=Schülerinnen und Schüler **11**
Abb. 2: Ebenen der didaktischen Forschung **12**
Abb. 3: Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ebenen in Bezug auf die empirischen Untersuchungen **14**
Abb. 4: Unterscheidung von Atomen in Gestalt, Anordnung und Lage am Beispiel der Aminosäuren **19**
Abb. 5: Lennard-Jones-Potential im Vergleich mit Demokrits postulierter Atomwechselwirkung **21**
Abb. 6: *cis*- und *trans*-Platin als Beispiel für Isomere mit unterschiedlichen Eigenschaften **23**
Abb. 7: Molekülstruktur von $[Cu_4(\mu_3\text{-}OH)_2(\mu_2\text{-}OH)_2(CH_3CN)_2(phen)_4](BF_4)_2$ **26**
Abb. 8: Vier der Platonischen Körper **27**
Abb. 9: Reaktion zwischen den Elementarkörpern **28**
Abb. 10: Schematische Darstellung des Trocknungsprozesses **29**
Abb. 11: Platons Entwicklungsgeschichte der Menschen **29**
Abb. 12: Der Übergang der Elemente nach Aristoteles **32**
Abb. 13: Der Unterschied zwischen Veränderung und Entstehen oder Vergehen **33**
Abb. 14: Die vier verschiedenen Veränderungen nach Aristoteles **35**
Abb. 15: Die vier Ursachen **36**
Abb. 16: Hämocyanin mit seinem katalytischen Kupferzentrum **37**
Abb. 17: Die epistemische Stufenleiter **38**
Abb. 18: Klassifizierung der Wissenschaften nach Aristoteles **38**
Abb. 19: Aufteilung der Tugenden **40**
Abb. 20: Einteilung der Philosophie in der Stoa **43**
Abb. 21: Seinsbereiche bei Aristoteles (links) und in der Stoa (rechts) **44**
Abb. 22: Entstehung von unterschiedlichen Dingen **44**
Abb. 23: Weltzyklus **45**
Abb. 24: Moderne Interpretation von stoischen Reaktionen **46**
Abb. 25: Die vier Kategorien der Stoiker **47**
Abb. 26: Die Affekte und ihre oppositionellen edlen Affekte **49**
Abb. 27: Forderungen der praktischen Tugend **50**
Abb. 28: Gegenüberstellung der aristotelischen und galileischen Lehre **52**
Abb. 29: Aufteilung des Dialogo **52**
Abb. 30: Ausschnitte aus Galileis Unterlage die Mondbeobachtungen betreffend **53**
Abb. 31: Aufteilung des Discorsi **54**
Abb. 32: Graphische Veranschaulichung des Widerspruchsbeweis gegen Aristoteles **56**
Abb. 33: Arbeitsschritte wissenschaftlichen Arbeitens **56**
Abb. 34: Vergleich eines idealen und realen Systems **57**
Abb. 35: Zwei verschiedene vitae **61**
Abb. 36: Bacon zwischen Renaissance und Neuzeit **63**
Abb. 37: Einteilung der Wissenschaft nach Bacon **64**
Abb. 38: Rolle von Empirie und Theorie **66**
Abb. 39: Die induktive Methode nach Bacon **66**
Abb. 40: Verschiedene Arten von Wissenschaftlern **70**
Abb. 41: Die drei Elemente nach Descartes **75**
Abb. 42: Aufbau der Mediationen und daraus folgender methodischer Vorgang **77**
Abb. 43: Der kartesische Dualismus **78**
Abb. 44: Von der Seele zum Verhalten **79**
Abb. 45: Provisorische und endgültige Moral **81**
Abb. 46: Zwei verschiedene Naturen bei Aristoteles und Newton **85**
Abb. 47: Zusammenhang zwischen Newton und Descartes **86**
Abb. 48: Newtons Forschungsmethode **86**
Abb. 49: Zwei Wege zu einer wahren Aussage **87**

Abb. 50: Theorienbildung **88**
Abb. 51: Qualitäten und Grundbegriffe der Physik **89**
Abb. 52: Zusammenhang zwischen Theologie und Chemie **93**
Abb.53: Fragestellung der natürlichen Theologie **95**
Abb. 54: Standpunkte gegenüber des Gottesproblems **96**
Abb. 55: Die Ablösung des Weltbezugs Gottes nach Newton **96**
Abb. 56: Erkenntnisprozess nach Kant **97**
Abb. 57: Escher **98**
Abb. 58: Erkenntnisvermögen nach Kant **99**
Abb. 59: Kategorientafel nach Kant **99**
Abb. 60: Gegenstand-Eigenschaft-Verhältnis **101**
Abb. 61: *a priori* vs. *a posteriori* **102**
Abb. 62: Analyse und Synthese **102**
Abb. 63:synthetische Urteile *a priori* **104**
Abb. 64: Erkennen der Welt **105**
Abb. 65: Einteilung der Naturwissenschaften nach Kant **108**
Abb. 66: Vernunft nach Kant **110**
Abb. 67: Verhältnis von Wollen und Sollen **112**
Abb. 68: Handeln aus Pflicht oder aus Neigung **113**
Abb. 69: Einteilung der Fakultäten **117**
Abb. 70: Hauptthesen der darwinistischen Theorie **119**
Abb. 71: Stellung des Menschen nach Darwin **122**
Abb. 72: Werdegang der Physik in Hinsicht auf die Philosophie **126**
Abb. 73: Schwerpunkte der Natur- und Geisteswissenschaften **131**
Abb. 74: Verhältnis zwischen Gesellschaft und Wissenschaft **133**
Abb. 75: Vier ethische Ebenen **135**
Abb. 76: Gründe dafür, dass die Technik ethisch relevant ist **138**
Abb. 77: Begriffsbestimmung Interdisziplinarität, Intradisziplinarität, Transdisziplinarität, Multidisziplinarität, Metadisziplinarität und Komplementarität **140**
Abb. 78: Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Ethik und „Cyclo-Disziplinarität“ **144**
Abb. 79: Zusammensetzung der Stichprobe bezogen auf den Jahrgang. Angegeben wird N. **146**
Abb. 80: Kategorie des ersten Lieblingsfachs in Abhängigkeit des Jahrgangs **149**
Abb. 81: Kategorie des zweiten Lieblingsfachs in Abhängigkeit des Jahrgangs **150**
Abb. 82: Lieblingsfächer im Verhältnis zum Geschlecht. Links: erstes Lieblingsfach. Rechts: zweites Lieblingsfach. **150**
Abb. 83: Kombination des ersten und zweiten Lieblingsfachs in Abhängigkeit von der Schulform. **151**
Abb. 84: Kombination aus erstem und zweitem Lieblingsfach in Abhängigkeit vom Jahrgang. **152**
Abb. 85: Die Themen Atomkraft, Gentechnik, Umwelt und Klima in Hinsicht auf Jahrgangsstufen in Abhängigkeit von der Kombination der beiden angegeben Fächer. **157**
Abb. 86: Mittelwerte in den sechs Einstellungskategorien in Bezug auf die Schulform. Mittelwerte auf einer Skala von 1 bis 6. 1 = volle Zustimmung; 6 = volle Ablehnung. **162**
Abb. 87: Die vier Items der Kategorie „Erkennen von füU“. Ausprägungen auf der sechsstufigen Skala (1 = volle Zustimmung; 6 = volle Ablehnung). Item 1 (Fächer haben etwas miteinander zu tun); Item 2 (Wiedererkennen aus anderem Fach); Item 3 (Anknüpfung zu anderem Fach im Unterricht); Item 4 (Wiederholung von Themen in verschiedenen Fächern) **163**
Abb. 88: Mittelwerte auf der Skala 1 bis 6 (1=volle Zustimmung; 6=volle Ablehnung) aufgeteilt in die verschiedenen Kategorien in Abhängigkeit vom Jahrgang **165**
Abb. 89: Mittelwertunterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern verschiedener Jahrgänge in den einzelnen Items der Kategorie „Grundmotivation“ **165**
Abb. 90: Mittelwertunterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern verschiedener Jahrgänge in den einzelnen Items der Kategorie „Vorurteile“ **167**
Abb. 91: Übersicht der studierten Fächer. **171**
Abb. 92: Kategorie (Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft) der studierten Fächer und deren Kombinationen. **172**

Abb. 93: Kategorie (Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft) der studierten Fächer in Abhängigkeit vom Geschlecht. Links: erstes Fach; Rechts: zweites Fach. **173**
Abb. 94: Erstes Fach (y-Achse) in Kombination der Itemkategorie „Sinn für FüU“. Abgebildet werden Mittelwerte. **176**
Abb. 95: Anzahl von fächerübergreifendem Unterricht pro Zeit. **178**
Abb. 96: Anzahl des fächerübergreifenden Unterrichts in Abhängigkeit vom angegebenen Alter. **179**
Abb. 97: Häufigkeit fächerübergreifenden Unterrichts in Abhängigkeit von der Kombination der eigenen studierten Fächer. **179**
Abb. 98: Häufigkeit fächerübergreifenden Unterrichts in Abhängigkeit des studierten Lehramts. **180**
Abb. 99: Fachfremd unterrichtete Fächer. Die Prozentangaben geben an wie häufig die dargestellten Fächer genannt wurden. **181**
Abb. 100: Bereits fachfremd unterrichtete Fächer (x-Achse) in Abhängigkeit dazu, ob das erste (und zweite) Fach eine Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft ist. Es werden Korrelationen nach Pearson mit entsprechenden Signifikanzen angegeben. **182**
Abb. 101: Bereits fachfremd unterrichtete Fächer (x-Achse) im Verhältnis zur Fächerkombination der eigenen Fächer (NW/NW; GW/GW; NW/GW). **183**
Abb. 102: Mittelwerte der vier Einstellungskategorien bezogen auf sieben Ausprägungen der Datenerhebung. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung. **187**
Abb. 103: Mittelwerte der vier Items der Kategorie „Interdisziplinarität im Studium“ bezogen auf sieben Ausprägungen der Datenerhebung. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung. **189**
Abb. 104: Vergleich der Kategorie Wünsche mit den beiden Items „Fächerübergreifender Unterricht im Schulpraktikum“ und „Gestaltung von fächerübergreifenden Unterricht“ aus der Kategorie Interdisziplinarität im Studium. Angegeben werden gültige Prozent gegen die Anzahl der Ausprägungen. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung. **190**
Abb. 105: Vergleich der Kategorie Einstellung zur Fachtrennung mit dem Item „Schnittstellen zu anderen Fächern“ aus der Kategorie Interdisziplinarität im Studium. Angegeben werden gültige Prozent gegen die Anzahl der Ausprägungen. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung. **191**
Abb. 106: Mittelwertvergleich zwischen verschiedenen Studiengängen in den Kategorien Wünsche und Fachtrennung mit Angaben der Signifikanzen. **106**
Abb. 107: Darstellung der vier Items der Kategorie “Fächertrennung”. **194**
Abb. 108: Darstellung der vier Items der Kategorie “Wünsche” **195**
Abb. 109: Mittelwertvergleich zwischen verschiedenen Studiengängen in den Items der Kategorie Interdisziplinarität im Studium mit Angaben der Signifikanzen. **196**
Abb. 110: Vergleich der L1 und L3 Studierenden in der Kategorie “Interdisziplinarität im Studium”. **197**
Abb. 111: Mittelwerte der vier Items der Kategorie „Interdisziplinarität im Studium“ bezogen auf sieben Ausprägungen der Datenerhebung bezogen auf die Gruppe der Chemiestudierenden. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung. **198**
Abb. 112: Aufteilung der Teilnehmer auf die verschiedenen Fachbereiche der Justus-Liebig-Universität Gießen. 01=Rechtswissenschaften; 02=Wirtschaftswissenschaften; 03=Sozial- und Kulturwissenschaften; 04=Geschichts- und Kulturwissenschaften; 05=Sprache, Literatur, Kultur; 06=Psychologie und Sportwissenschaften; 07=Mathematik und Informatik, Physik, Geographie; 08=Biologie und Chemie; 09=Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement; 10=Veterinärmedizin; 11=Medizin **205**
Abb. 113: Geschlecht der Teilnehmermenge **206**
Abb. 114: Finanzierung der befragten Doktorandinnen und Doktoranden **207**
Abb. 115: Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten der Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften **209**
Abb. 116: Forschungsziele der Promotion in Hinsicht auf Geisteswissenschaftlerinnen und

Naturwissenschaftlerinnen **211**
Abb. 117: Sinn von Interdisziplinarität für die Forschung **213**
Abb. 118: Das Konzept von Interdisziplinarität von Geistes-und NaturwissenschaftlerInnen. y-Achse [%] **215**
Abb. 119: Häufigkeiten der DoktorandInnen die an der Universität unterrichten **217**
Abb. 120: Sinn von Lehre. Im unteren Teil der Abbildung werden Prozentwerte innerhalb von NWler oder GWler angegeben. **218**
Abb. 121: Relevanz von Lehre. y-Achse: Mittelwerte; sechsstufige Skala zwischen zwei Extrema. **220**
Abb. 122: Inhalte anderer Fächer in der Lehre **222**
Abb. 123: Links zu anderen Fächern in der Lehre **223**
Abb. 124: Wissenschaftlicher Kontext **223**
Abb. 125: Interdisziplinarität als Teil der akademischen Ausbildung **224**
Abb. 126: Vorurteile verringern **224**
Abb. 127: Logo des EnergEthik Projekts **230**
Abb. 128: Energiegewinnung **234**
Abb. 129: Bohr'sches Atommodell **275**
Abb. 130: Das Element Natrium **276**
Abb. 131: Uranisotope **276**
Abb. 132: α-Strahlung **277**
Abb. 133: Zerfallsreihe **277**
Abb. 134: β-Zerfall **278**
Abb. 135: Zerfallsreihe **278**
Abb. 136: γ-Strahlung **278**
Abb. 137: Kernspaltung **284**
Abb. 138: Zerfallsreihe **284**
Abb. 139: Zerfallsreihe **284**
Abb. 140: Vorgänge im Reaktorraum **285**
Abb. 141: Überblick über das Kraftwerk **286**
Abb. 142: Rückhaltebarriere **287**
Abb. 143: Logisches Argumentieren **290**
Abb. 144: ethischer Fragekreis **292**
Abb. 145: Zerfallsreihe **295**
Abb. 146: Endlager Gorleben **296**
Abb. 147: Wasserstoff und Sauerstoff **303**
Abb. 148: Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle, Wirkprinzip **304**
Abb. 149: Allgemeine Reaktionsgleichung der Elektrolyse **305**
Abb. 150: Teilgleichung der Elektrolyse an der Kathode **306**
Abb. 151: Teilgleichung der Elektrolyse an der Anode **306**
Abb. 152: Gesamtgleichung der Elekrolyse von Wasser **306**
Abb. 153: Knallgasreaktion **311**
Abb. 154: Chlorknallgasreaktion **311**
Abb. 155: Erster Schritt der Dampfreformierung **312**
Abb. 156: Zweiter Schritt der Dampfreformierung (Wassergas-Shift-Reaktion) **312**
Abb. 157: Reaktion im Plasma-Brenner **314**
Abb. 158: Übersicht: Herstellung von Wasserstoff **313**
Abb. 159: Verluste bei der Nutzung von Wasserstoff zur Speicherung von elektrischer Energie **315**
Abb. 160: Verschiedene Brennstoffzellentypen **317**
Abb. 161: Nichtcyclische Alkane **328**
Abb. 162: Cyclische Alkane **328**
Abb. 163: Benzol **329**
Abb. 164: Schwefelverbindungen **329**
Abb. 165: Sauerstoffverbindungen **330**
Abb. 166: Atmosphärendestillation **332**
Abb. 167: Verarbeitungsschritte nach der Rohöldestillation[1] **333**
Abb. 168: Hubbert-Kurve **343**

Abb. 169: Werturteil **346**
Abb. 170: Herstellung des Synthesegases **350**
Abb. 171: Synthesegas aus Methan **351**
Abb. 172: Abläufe auf der Katalysatoroberfläche **351**
Abb. 173: Bildung von Ketten auf der Katalysatoroberfläche **352**
Abb. 174: Gesamtgleichung der Fischer-Tropsch-Synthese **352**
Abb. 175: Methodischer Dreischritt **353**
Abb. 176: Molekülstruktur von H_2O und CO_2 **359**
Abb. 177: Treibhausgase **360**
Abb. 178: Emissionswerte 1750 und 2003 (Werte in ppb) **363**
Abb. 179: Verweilzeiten (Angaben in Jahren) **363**
Abb. 180: Berechnung der Emission durch Autos **365**
Abb. 181: CO_2-Emission durch Lebensmittel **366**
Abb. 182: Verschiedene Wertkategorien **370**
Abb. 183: Struktur von Kohle **375**
Abb. 184: Primärenergie in Deutschland **377**
Abb. 185: CO_2-Ausstoß bezogen auf die Brennstoffart **378**
Abb. 186: Bourdieus Verständnis von Feldern und Klassen **381**
Abb. 187: Primärenergie in Äthiopien **386**
Abb. 188: ATP **398**
Abb. 189: Von ATP zu AMP **399**
Abb. 190: Stoffwechsel einer Pflanze **399**
Abb. 191: Synthese von Biodiesel **400**
Abb. 192: Darstellung von RME **400**
Abb. 193: Fermentation von Glukose **401**
Abb. 194: Synthesegas aus Kohle **401**
Abb. 195: Synthesegas aus Methan **402**
Abb. 196: Abläufe auf der Katalysatoroberfläche (OF) **402**
Abb. 197: Bildung von Ketten auf der Katalysatoroberfläche **402**
Abb. 198: Gesamtgleichung der Fischer-Tropsch-Synthese **403**
Abb. 199: Biogasanlage **403**
Abb. 200: Kognitiver Prozess bis zum Handeln **406**
Abb. 201: Anteil an Primärenergie in den USA **413**
Abb. 202: Anteil an Primärenergie in Deutschland **413**
Abb. 203: Anteil an Primärenergie in Island **414**
Abb. 204: Anteil an Primärenergie in Äthiopien **414**
Abb. 205: Energieverbrauch in Deutschland **415**
Abb. 206: Verbrauch privater Haushalte **415**
Abb. 207: Unterschiede zwischen verschiedenen Bindestrich-Disziplinaritäten **504**
Abb. 208: Das Verhältnis von Naturwissenschaft und Ethik heute **506**
Abb. 209: Spannungsfelder in Lehre und Forschung **510**

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Beispiel einer typischen Bacon`schen Tabelle **67**
Tab. 2: Vergleich zwischen Galilei, Bacon, Descartes und Newton **94**
Tab. 3: Klassische Mechanik im Vergleich zur Quantenmechanik **124**
Tab. 4: Lieblingsfach 1 und 2 (Angabe=N) **147**
Tab. 5: Kategorisierung der genannten Fächer zu verschiedenen vorgegebenen Themen. Angaben = N[%]. Links (1) die zuerst genannten Fächer, rechts (2) die als zweites genannten Fächer. **153**
Tab. 6: Items des Fragebogens für Schülerinnen und Schüler und Zuordnung zu Kategorien **158**
Tab. 7: Fragebogenaufbau **169**
Tab. 8: Mittelwerte der einzelnen Items auf einer Skala von 1 bis 6. 1= ich stimme voll zu; 6 = ich stimme gar nicht zu. **174**
Tab. 9: Fragebogenaufbau **186**
Tab. 10: Frageblöcke zum Thema Lehre und Interdisziplinarität in der Lehre **203**
Tab. 11: Gründe zur Anfertigung einer Promotionsarbeit **212**
Tab. 12: Prozesse in der klassischen Brennstoffzelle **305**
Tab. 13: Eigenschaften von Wasserstoff **311**
Tab. 14: Probleme und Lösungen **315**
Tab. 15: Alternative Kraftstoffe **322**
Tab. 16: Ölreserven 2002 **332**
Tab. 17: Verbrauch verschiedener Länder **341**
Tab. 18: Vorräte fossiler Brennstoffe **350**
Tab. 19: GWP Werte verschiedener Verbindungen **361**
Tab. 20: CO_2-Ausstoß verschiedener Länder **362**
Tab. 21: Unterschiede in der Art der Heizung **364**
Tab. 22: CO_2-Quellen **365**
Tab. 23: Verschiedene Kohlearten **375**
Tab. 24: Braunkohle Förderung **376**
Tab. 25: Steinkohle Förderung **377**

Kapitel 1

Einleitung

Im Folgenden wird das Forschungsgebiet thematisch abgesteckt. Die Methode und die Fragestellungen sowie die Motivation werden diskutiert.

1.1 Disziplinen und Interdisziplinarität

Interdisziplinarität wird heute als Schlagwort in verschiedenen Kontexten gebraucht. Dazu zählt neben der akademischen Forschung auch die Schule mit dem Bestreben nach fächerübergreifenden Ansätzen. Zunehmend wird der Eindruck erweckt, dass gerade im universitären Betrieb Interdisziplinarität zum Modewort heranreift. Forschungsvorhaben gewinnen an Prestige, wenn sie interdisziplinär ausgerichtet sind oder interdisziplinäre Inhalte vorweisen können. Taucht das Schlagwort „Interdisziplinarität“ auf, wird auf die Kooperationsbereitschaft zu anderen Disziplinen aufmerksam gemacht, auch wird der Anwendungsbezug und die Relevanz des Themas für ein größeres Fachpublikum als das eigene herausgestellt.

Was wird aber unter einer Disziplin verstanden? Die Einteilung des Wissenschaftssystems in verschiedene Disziplinen unterliegt einer historisch erwachsenen Dynamik. Die Disziplinen spiegeln auch heute noch die Bedürfnisse der Gesellschaft wieder. Jede Disziplin, sei sie auch auf den ersten Blick noch so theoretisch, hat ihre Entsprechung in gesellschaftlichen Anwendungen. Jede Disziplin vereinigt ihr ganz eigenes Wissen und grenzt es nach außen gegen andere Disziplinen ab. Sie verwendet ihre eigene Fachsprache, eigene wissenschaftliche Methoden und verfolgt disziplininterne Ziele. Sie bildet ab, womit sich die Gesellschaft beschäftigt, sie sammelt Wissen zu einem ganz bestimmten und klar umrissenen Forschungsgegenstand. Das Forschungsgebiet muss einheitlich sein, was durch das Kohärenzpostulat beschrieben wird. Jede Disziplin hat ihre Spezialistinnen und Spezialisten, die sich mit ihren eigenen Gegenständen auskennen und Forschung auf einem spiezialisierten Gebiet betreiben.

Aber diese Disziplinen, so nach außen abgesteckt sie auch sein mögen, haben keine klaren Grenzen, zumindest nicht an jeder Stelle. Sie stoßen an benachbarte Disziplinen an und manchmal sind ihre Ränder nicht starr, sondern flexibel, genauso wie die der benachbarten Disziplin. Genau dann kommt es dazu, dass Forschung über die Fächergrenzen hinweg möglich wird.

Innerhalb verschiedener Fachbereiche wird schon lange über die Fächergrenzen hinweg geforscht. Kooperationen treten häufig zwischen solchen Disziplinen auf, die miteinander verwandt sind, zum Beispiel zwischen Physik, Chemie und Biologie oder zwischen Pädagogik, Sozialwissenschaften und Politikwissenschaften. Warum ist das so? Die Antwort liegt in diesem Fall auf der Hand. Vergleichbare Disziplinen aus einem ähnlichen Fachbereich bedienen sich auch vergleichbarer *Methodik*. Das heißt, in den Naturwissenschaften liegt ein Schwerpunkt nach wie vor auf dem Experiment, in der theoretischen Naturwissenschaft auf der Mathematik. In den Sozial- und Geisteswissenschaften bedient man sich anderer Methodik, die wissenschaftliche Arbeit ist eine andere. Auch sind die *Forschungsziele*, der *output*, zu unterscheiden. Während in den Naturwissenschaften der Publikationsdruck stetig wächst und Ergebnisse so schnell wie möglich in relativ knapper Form veröffentlich werden müssen, steht am Ende einer geisteswissenschaftlich ausgerichteten Arbeit meist eine längere Schrift. Die Angst, dass die Ergebnisse zuvor von einem anderen Wissenschaftler oder einer anderen Wissenschaftlerin publiziert werden, sind vergleichbar gering, was auf die wissenschaftliche Methodik zurückzuführen ist. Klassische

naturwissenschaftliche Disziplinen beschäftigen sich in der Regel mit der Generierung von „Richtigkeitswissen“, dem *knowing how*. Geisteswissenschaftliche Disziplinen, wie zum Beispiel die Theologie versuchen jedoch „Wichtigkeitswissen“ aufzubauen, das sogenannte *knowing that*. Sprich: unterschiedliche Disziplinen suchen auch nach unterschiedlichem Wissen. Des Weiteren macht die unterschiedliche *Fachsprache* das Arbeiten innerhalb bestimmter Fachbereiche einfacher. Spricht man in der Physik etwa von einer Theorie kann damit unter Umständen etwas ganz anderes gemeint sein als in den Erziehungswissenschaften.
Arbeiten über die Disziplingrenzen hinweg erfolgen also häufig innerhalb eines Themengebiets. Dafür wird der Begriff der Interdisziplinarität verwendet und nicht weiter differenziert, da Interdisziplinarität als Schlagwort im Allgemeinen so verstanden wird. In der vorliegenden Arbeit wird für Interdisziplinarität zunächst folgender Arbeitsbegriff angenommen: sie ist eine Forschungskooperation, die von mehr als einer klar abgegrenzten Disziplin betrieben wird. Eine nähere Definition wird im Folgenden noch getroffen (vgl. dazu Kapitel 2).
Interdisziplinär zu forschen und fächerübergreifend zu unterrichten, ist demnach keine Selbstverständlichkeit. Das Trennen von Disziplinen hat Tradition, die bis in die Antike zurückreicht. Was damals als Fortschritt verstanden wurde, nämlich die Trennung expliziter Wissensbereiche, ist heute Begrenzung, im positiven und negativen Sinne. Die Begriffe „Naturwissenschaft“ und „Geisteswissenschaft“ wurden bereits genannt. In ihnen spiegeln sich verschiedene Bereiche wieder, die sich besonders durch unterschiedliche Methodik, Fachsprache und Forschungsziele gegeneinander abgrenzen. Die Einteilung in Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften beziehungsweise in *Social Sciences* und *Natural Sciences* kann aber durchaus unterschiedlich vorgenommen werden. Um in der vorliegenden Arbeit dennoch mit diesen Begriffen arbeiten zu können, wurde zur besseren Handhabung eine grobe Einteilung getroffen:

<u>Naturwissenschaften:</u>

- Chemie, Biologie
- Physik, Mathematik und Informatik
- Geographie, Ernährungswissenschaften
- Materialwissenschaften, Lebensmittelwissenschaften
- Medizin
- Weitere, spezialisiertere Wissenschaften, die sich aus einer oderer mehreren der oben genannten ableiten lassen

<u>Geisteswissenschaften</u>

- Geschichtswissenschaften, Theologie
- Ethik und Philosophie
- Sozialwissenschaften, Politikwissenschaften
- Sprachwissenschaften

- Weitere, spezialisiertere Wissenschaften, die sich aus einer oderer mehreren der oben genannten ableiten lassen

Diese grobe Einteilung dient in diesem Fall als Arbeitsmodell. Im Verlauf der empirischen Studien wird das Modell näher untersucht (vgl. dazu Kapitel 3). Auch wenn kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht, ergeben sich Probleme. Mathematik versteht sich beispielsweise nicht zwangsläufig als Naturwissenschaft, sondern eher als eine separierte, nicht in dieses Schema einzuordnende Wissenschaft. Wissenschaften wie Juristik oder Betriebswirtschaft sind ebenfalls nicht klar zuzuordnen. Die Psychologie kann sowohl geisteswissenschaftliche als auch naturwissenschaftliche Ansätze beinhalten. Immer, wenn es im Folgenden um diese Fächer geht, wird darauf hinzuweisen sein, dass eine klare Kategorisierung nicht möglich ist. Grundsätzlich muss es jedoch bestimmte Merkmale geben, anhand derer eine Einteilung vorgenommen werden kann. Darum gelten für diese Einteilung folgende Prämissen:

a) Die Methoden der *Naturwissenschaften* zeichnen sich in der Regel durch folgende Merkmale aus:
    - **Experimente**: Theorien werden am Experiment überprüft. Auch können anhand von Experimenten neue Theorien gebildet werden.
    - **Empirie**: Durch den engen Bezug zum Experiment untersuchen Naturwissenschaften häufig den Gegenstand am Modell- oder Realsystem.
    - **Theorie**: Naturwissenschaftliche Theorien sind häufig mathematisch oder auf Beobachtungen basiert.
    - **Reproduzierbarkeit**: Naturwissenschaftliche Ergebnisse werden dann als wahr angesehen, wenn sie durch eine etabilerte Methode reproduziert werden können.

b) Die Methoden der *Geisteswissenschaften* zeichnen sich in der Regel durch folgende Merkmale aus:
    - **Beobachtung**: Vor allem sozialwissenschaftliche Forschung beobachtet den Mensch in seinem Verhalten auch in Bezug auf gesellschaftliche Systeme.
    - **Theorie**: Theorien werden auf Beobachtung gestützt oder durch Beobachtung verifiziert. Theorien können aber auch durch Gedankenexperimente aufgestellt und begründet werden.
    - **Hermeneutik**: Geisteswissenschaften versuchen häufig das, was anthropologisch geschieht, mit Hilfe von Theorien zu erklären.
    - **Empirie**: Beobachtungen können kategorisch durchgeführt werden und beziehen sich auf die Gesellschaft oder auf kulturelle Erzeugnisse (wie zum Beispiel die Sprache).

Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Disziplinen, die sich mathematischer Theorien bedienen, werden als Naturwissenschaft angesehen.
- Disziplinen, die sich mathematischer Konstrukte mit anthropologischem Bezug bedienen, werden als Geisteswissenschaften angesehen.
- Disziplinen, die empirisch arbeiten, können sowohl geisteswissenschaftlich als als naturwissenschaftlich sein.
- Naturwissenschaftlich ist empirische Forschung dann, wenn sie sich mit natürlichen oder technischen Prozessen auseinander setzt.
- Geisteswissenschaftlich ist empirirsche Forschung dann, wenn sie im weitesten Sinne gesellschaftliche Phänomene untersucht.
- Disziplinen, die Experimente durchführen, sind in der Regel Naturwissenschaften, es sei denn es handelt sich um Gedankenexperimente.

Wie man sieht, ist die Einteilung in Natur- und Geisteswissenschaftlten nicht sofort evident. Oft erfolgt sie eher spontan und begründet sich auf Vorannahmen und Traditionen. Interdisziplinarität als solche soll in dieser Arbeit nicht nur zwischen Disziplinen innerhalb der Naturwissenschaften oder innerhalb der Geisteswissenschaften untersucht werden, sondern auch zwischen den beiden großen Wissenschaftsbereichen.

Außerdem kann man die Notwendigkeit zu interdisziplinärer Forschung hinterfragen. Warum ist es zur Zeit „Trend“ die Interdisziplinarität von Projekten in den Vordergrund zu stellen? Das liegt mit Sicherheit nicht nur an einem eventuell erhöhten Prestige. Interdisziplinarität ergibt sich sozusagen von selbst, wenn die Grenze der eigenen Disziplin nicht künstlich starr gehalten wird. Die Fragestellungen, die die heutige Gesellschaft bewegen, sind i. d. R. nicht mit Hilfe einer einzigen Disziplin zu beantworten. Gesellschaftliche Probleme werden nicht nur von einer Disziplin gelöst. Vor allem in anwendungsbezogenen Forschungsgebieten wird Interdisziplinarität schon allein deswegen nicht zu umgehen sein. Dabei geht es um die Zusammenarbeit an einem gemeinsamen Problem ohne dabei die eigene Identität zu verlieren. Dennoch braucht nicht jede Forschungsfrage Interdisziplinarität. Vor allem in Bereichen der Grundlagenforschung gibt es viele Projekte, die sich rein auf eine Disziplin beziehen. Hier wird der Vorteil der Disziplinierung am sichtbarsten. Spezialisten auf einem Gebiet eignen sich ausreichend Kompetenzen an, um ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zu betreiben. Jede Disziplin für sich genommen ist so umfangreich, dass ein einzelner Forscher sie kaum überblicken kann. Das Motto „Wer zu viel weiß, verdünnt sich nur“ scheint programmatisch zu sein. Expertise auf einem Gebiet zu erlangen ist so aufwendig, dass es kaum möglich zu sein scheint ein zweites Gebiet ebenfalls zu überblicken. Und genau deswegen ist Interdisziplinarität beliebt. In Forschungsprojekten über die Disziplingrenzen hinweg, muss nicht jeder alles überblicken. Jeder Teilnehmende bringt seine spezielle Expertise ein, seine

disziplineigene Methodik und das disziplinspezifische Know how. Eben diese Vielfalt an wissenschaftlichem Wissen macht die Disziplinen und die Interdisziplinarität notwendig.
Folgende Vorteile von Interdisziplinarität und Disziplinierung (der Einteilung von Wissen in Disziplinen) sollen an dieser Stelle festgehalten werden:

a) Vorteile von Interdisziplinarität
    - Interdisziplinarität bildet reale Probleme der Gesellschaft ab
    - Interdisziplinarität öffnet den Horizont für neue Fragestellungen jenseits der eigenen Fachgrenzen
    - Durch Interdisziplinarität kann die eigene Expertise nutzbringend eingesetzt werden
    - Durch Interdisziplinarität muss nicht „Jeder alles wissen"

b) Vorteile der Disziplinierung
    - Durch die Disziplinierung wird die Wissensmenge reduziert (Arbeitsteilung)
    - Die eigene Disziplin verschafft Identität und Sicherheit im Umgang mit Methodik, Fachsprache, u. Ä.
    - Disziplinen bilden ab, dass Menschen durchaus „Vorlieben" für bestimmte Wissensbereiche haben

Im Folgenden wird die Fragestellung nach Interdisziplinarität zunächst spezifiziert und auf didaktische Prozesse in Schule und Hochschule bezogen.

1.2 Interdisziplinarität in der Lehre

Interdisziplinarität rückt heute nicht nur in der wissenschaftlichen Forschung, sondern auch in der Schule in Form von fächerübergreifendem Unterricht immer mehr in den Vordergrund. Die Wirtschaft macht mit „*personal-skills*" die Fähigkeit zum kreativen Denken, zur freien Entscheidungsfindung und die Bereitschaft zum interdisziplinären Arbeiten erforderlich. Überfachliche Schlüsselkompetenzen werden zudem zum Schlagwort. Dahinter verbirgt sich das, was Schülerinnen und Schüler[a] in ihre zukünftige Arbeitswelt mitbringen sollen. Dazu zählt vor allem auch problemlösendes Denken in überfachlichen und komplexen Situationen. Die Reproduktion von separiertem Fachwissen unter solchen komplexen Anforderungen kann digital geleistet werden, aber die Vernetzung dieser Bausteine bedarf eines menschlichen Verstandes, der den Überblick behält und über das hinaus denken kann, was ihm eingegeben wurde.[3] Doch trotz den in der Arbeitswelt mehr und mehr gewichteten überfachlichen Kompetenzen und der wissenschaftlich geforderten Interdisziplinarität erleben sich Schülerinnen und Schülern in den meisten Fällen immer

noch entweder als „NaturwissenschaftlerInnen“ oder „GeisteswissenschaftlerInnen“. Die Kategorien werden allerdings nicht nur als inhaltliche Grenze zwischen verschiedenen Lerninhalten verstanden, sondern werden zum Identifikationsmerkmal. Durch die Identifikation mit einer bestimmten Fachrichtung nimmt sich der Schüler oder die Schülerin selbst das Selbstvertrauen auch andere Inhalte begreifen zu können. Nicht selten versperren sich Schülerinnen und Schüler gegenüber einzelnen Fächern bis zur völligen Verweigerung. Diese Ablehnung resultiert oft nicht aus dem „nicht verstehen können“ sondern aus dem „nicht verstehen wollen“. Auch wenn dieser Tatbestand nicht zu verallgemeinern ist und keine persönlichen Vorlieben und Talente abgesprochen werden sollen: Die innere Überzeugung etwas nicht verstehen zu können, macht die Aneignung eines Sacheverhaltes unnötig schwer und führt schnell zu einem Desinteresse.

Fächerübergreifender Unterricht als Schlagwort ist leicht genannt. Aber dahinter verbirgt sich auch eine Vielzahl von Problemen. Zunächst treffen hier völlig verschiedene *didaktische Konzepte* aufeinander. Die Art und Weise, die Methode, wie Unterricht gestaltet wird, ist in den verschiedenen Fächern sehr unterschiedlich. So ist es auch mit *Lehr-Lernziele*. Ethikunterricht fördert etwa völlig andere Kompetenzen als dies ein Physikunterricht tut. Wo sind aber die Ansatzpunkte zwischen den verschiedenen Fächern?

Zunächst gibt es eine Vielzahl inhaltlicher Gemeinsamkeiten. So, wie zwischen den unterschiedlichen akademischen Disziplinen, verschwimmen die Grenzen zwischen den Schulfächern. Anknüpfungspunkte finden sich in jeder Jahrgangsstufe und über alle Fächer hinweg. Interdisziplinarität lässt sich sogar kaum vermeiden. Eine gemeinsame Basis zwischen den einzelnen Schulfächern befindet sich schon dort, wo die Chemielehrerin auf Mathematik zurückgreifen muss. Sie setzen sich bei dem Englischlehrer fort, der einen historischen Text heran zieht und sie findet eine besondere Form da, wo geisteswissenschaftliche und naturwissenschaftliche Themen miteinander verknüpft werden. Diese Beispiele weisen auf die Unverzichtbarkeit von Interdisziplinarität hin.

Obwohl man leicht dazu neigt den Fächerkanon als naturgegeben hinzunehmen, ist er doch nur künstlich erzeugt und durch historische Prozesse gewachsen.[4] Ebenso verhält es sich mit den Disziplinen an der Universität. Die Bedürfnisse der Gesellschaft drücken sich, wie bereits erwähnt, in der Schule durch den Fächerkanon aus. Demnach kann ein Fach wie folgt definiert werden: „Fächer sind, wie der Name sagt, Schubladen, in denen das Wissen, nach Relevanz-Geraden und -Kategorien sortiert, abgelagert wird. So bildet die Ordnung, der Kanon der Schulfächer, eine Topographie des kollektiven Gedächtnisses der Wissenschaften“.[5] Auch wenn natürlich nicht alles Wissen der

[a] **Im gesamten Text wird darauf geachtet bei Worten, die es erfordern sowohl die weibliche als auch die männliche Form anzugeben. In der Regel werden diese ganz ausgeschrieben (Schülerinnen und Schüler, Teilnehmerinnen und Teilnehmer, usw.). Bei Aufzählungen jedoch wird der Einfachheit halber auf eine andere Form zurückgegriffen und ein großes „Innen“ angehängt (z.B. GeisteswissenschaftlerInnen und NaturwissenschaftlerInnen). An Stellen, an denen weder das eine noch das andere benannt wurde, es aber grammatikalisch notwendig ist, ist ebenfalls sowohl die weibliche als auch die männliche Form gemeint.**

Gesellschaft in den Schulfächern vertreten ist, wird hier deutlich, dass eine enge Beziehung besteht und bestehen muss. Anknüpfungspunkte zwischen den Fächern finden sich allerdings nicht nur über das dort abgelegte Wissen. Die Ersetzung der klassischen Lernziele durch Kompetenzfelder tritt heute immer stärker in den Vordergrund. Auch wenn die verschiedenen Fächer unterschiedlicher Methodik folgen und durchaus auch verschiedenen Ziele: in bestimmten Kompetenzbereichen finden sich Überschneidungen. So soll nicht nur Fachwissen vermittelt, sondern auch personelle, soziale und methodische Kompetenzen gefördert werden. Fächerübergreifender Unterricht kann dazu beitragen Kompetenzen aus jedem Feld zu fördern, wie zum Beispiel:

a) **Personelle Kompetenzen**
   - Meinungsbildungs- und Urteilsfindungskompetenz
   - Gesunde kritische Haltung gegenüber neuen Theorien
   - Orientierung im Fächerkanon, systemisches Denken
   - …

b) **Soziale Kompetenz**
   - Auseinandersetzung mit anderen Meinungen
   - Toleranzfähigkeit
   - Kommunikationsfähigkeit über komplexere Themen
   - …

c) **Methodische Kompetenz**
   - Kategorisches Denken
   - Recherchekompetenz
   - …

Die hier abgebildete Liste ist beispielhaft zu verstehen und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es soll verdeutlicht werden, dass Schülerinnen und Schüler von fächerübergreifendem Unterricht profitieren können. Dieser Nutzen geht weit über das Erlangen von Fachwissen hinaus. So wird durch fächerübergreifenden Unterricht nicht nur die Meinungsbildungskompetenz geschult, sondern auch der Blick auf das kanonisierte System geschärft. Nur wer sich diesem System bewusst ist, kann Kompetenzen wie systemisches oder kategorisches Denken erlangen. Die Aufgabe, solche Kompetenzen zu vermitteln, kommt nicht nur einem Fach zu. Es ist vielmehr Aufgabe der Schule selbst, nicht nur zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern über die gesamte Schullaufbahn eines Schülers oder einer Schülerin hinweg.

Grundsätzlich geht die Relevanz von fächerübergreifendem Unterricht also über den puren Nutzen für das eigene Fach hinaus. Fächerübergreifender Unterricht überwindet die „Fachblindheit“ und schafft Orientierungswissen, das nicht allein aus nur einem Fach gewonnen werden kann. Obwohl die separierte Erkenntnis aus dem einzelnen Fach notwendig ist, ist sie nicht hinreichend.[6] Das anwendbare Wissen entsteht erst durch die Verknüpfung selbst. Die in der Realität auftauchenden,

gesellschaftlichen Probleme können wie bereits besprochen nicht mit nur einem Fach gelöst werden.[3] Zudem birgt das strikte Einhalten der Fächergrenzen die Gefahr, dass die Grenze nicht mehr nur eine institutionalisierte bleibt, sondern zu einer Erkenntnisgrenze wird.[7]

Das Potential, das in fächerübergreifenden Ansätzen steckt, liegt also auf der Hand. Genauso klar sind die immer wieder genannten Nachteile des kanonisierten Schulsystems. Fachinhalte werden losgelöst von der Lebenssituation behandelt, denn die Schülerinnen und Schüler treffen in der Realität nicht auf „Fächer". Durch den Kanon wird ein „Schubladendenken" gefördert, was sich im wissenschaftlichen Betrieb durch das Überschätzen des eigenen Fachs äußert. Statt lebensbedeutsame Inhalte praktisch zur Anwendung zu bringen, wird zu kopflastig gearbeitet und schließlich führt der getaktete Schulalltag nicht nur zu Überforderungen, sondern auch zu Lücken.[8]

Dabei stellt sich die Frage, wie die Lehrerin oder der Lehrer fächerübergreifenden Unterricht überhaupt realisieren soll. Nimmt man als Beispiel Naturwissenschaft und Ethik so treffen völlig unterschiedliche Fachdidaktiken aufeinander. In beiden Disziplinen wird Wert auf unterschiedliche Methoden gelegt. Schülerinnen und Schüler passen ihr Verhalten den jeweiligen Umständen an und handeln oft so wie es von ihnen in dem jeweiligen Fach erwartet wird. Auch wenn die Fachgrenzen künstlich gezogen sind, grenzen sich die Disziplinen selbst voneinander ab. Als Lehrerin oder Lehrer trifft man auf diese unterschiedliche Fachtradition und muss sich dieser bewusst sein. Von Lehrerinnen und Lehrern wird mehr erwartet als nur Wissensvermittler zu sein, vielmehr wird die „Kompetenz zur fächerübergreifenden Lernförderung" vorausgesetzt.[9] Aber wann genau und wie erlangen Lehrerinnen und Lehrer diese Kompetenz? In welchem Abschnitt ihrer Ausbildung wird das fächerübergreifende Unterrichten in den Vordergrund gestellt? Hier kollidiert das Schulsystem mit dem Wissenschaftssystem der Universität. Fakt ist: Lehrerinnen und Lehrer werden dazu angehalten fächerübergreifend zu unterrichten oder zumindest die Zusammenhänge zu anderen Fächern offen zu legen. Doch die Ausbildung zukünftiger Lehrerinnen und Lehrer findet an der Universität statt. Und diese Universität ist ebenso kanonisiert wie die Schule selbst. Wer an der Universität ist also verantwortlich den zukünftigen Lehrerinnen und Lehrern die „Kompetenz zur fächerübergeifenden Lernförderung" zu vermitteln? In dieser Arbeit soll unter anderem die Frage geklärt werden, ob Studierende des Lehramts diese Förderung erfahren (vgl. Kapitel 3.3). Dabei stellt sich die Frage, wie viel Wert die Lehrenden an den Universitäten auf Interdisziplinarität legen. Diese Lehrenden sind häufig Doktoranden und Doktorandinnen, also eben auch diejenigen, die an der Universität (u. A.) Forschung betreiben.

Dass fächerübergreifender Unterricht möglich ist, beweist die Realität. Aus verschiedenen reformpädagogischen Ansätzen sind Modelle bekannt, die fächerübergreifenden Unterricht verwirklichen. Solche Systeme lassen sich in der herrschenden Leistungsgesellschaft jedoch nur schwerlich umsetzen. Was hindert aber den fächerübergreifenden Unterricht an seiner Expansion im bestehenden Schulsystem? Welche Hindernisse müssen Lehrerinnen und Lehrer überwinden, um fächerübergreifenden Unterricht zu realisieren? Neben diesen Fragen wird im Folgenden auch

untersucht, inwieweit Lehrerinnen und Lehrer fächerübergreifenden Unterricht verwirklichen wollen und können (vgl. Kapitel 3.2).

Aus den bisher genannten Überlegungen entsteht die Frage nach einer „Interdisziplinären Didaktik". Diese soll wie folgt definiert sein:

Interdisziplinäre Didaktik untersucht Gegenstände im Bereich zwischen Disziplinen oder Fächern, die sich im Bereich schulischer oder hochschulischer Lehre bewegen. Das heißt, sie befasst sich mit der Lehre, ihren Inhalten und ihren Methoden in Hinsicht auf die Verknüpfung verschiedener Fächer oder Disziplinen. Dabei wird zunächst der „Ist-Bestand" gesichert und mit einem „Soll-Zustand" abgeglichen. Interdisziplinäre Didaktik versucht dann auch die Gründe für eventuelle Differenzen zwischen dem Ist und dem Soll zu begründen und dementsprechende empirisch basierte Erklärungen zu liefern.

Hier lohnt sich ein kurzer Exkurs in die Bedingungen allgemeiner Didaktik vor allem in Hinsicht auf den Vergleich und den Zusammenhang zu den Fachdidaktiken. Bei der Entwicklung der Fachdidaktiken wurde zunächst festgehalten, dass diese ihre Erkenntnisse aus der allgemeinen Didaktik und den Fachwissenschaften beziehen sollten. Im Laufe der Geschichte wird in dieser Hinsicht die oft fehlende Kommunikation zwischen Fachdidaktiken und allgemeiner Didaktik bemängelt, welche zu Anfang noch rege betrieben wurde. Eine zentrale Frage der Fachdidaktik kann wie folgt formuliert werden:[10]

„Welchen Beitrag kann das einzelne Fach im Hinblick auf die übergreifende Zielstellung schulischen Unterrichts leisten? Welche Deutungs- und Handlungsmöglichkeiten bietet dieses Fach an, damit der junge Mensch als „gebildeter Laie" das gegenwärtige und zukünftige gesellschaftliche Leben mitgestalten kann?"

Und schließlich auch:

„Welche Lernhilfen kann der Lehrende dem Lernenden geben, damit dieser sich Denk- und Handlungsmuster erschließt und zu ihnen Stellung nehmen kann?"

Hier klingen schon die verschiedenen Ebenen didaktischer Forschung an. Denn Didaktik hat sich nicht nur mit der Theorie des Lernens und Lehrens zu beschäftigen, sondern auch mit der Praxis.[11] Beide Aspekte sind dabei vom jeweils anderen durchdrungen. So wie die theoretische Didaktik nur Sinn macht in Hinsicht auf den Unterricht, muss der Unterricht auch wieder am didaktischen Modell reflektiert werden. Was genau die Aufgabe der Didaktik ist, wird durch die sogenannten W-Fragen (wer, was, von wem, wann, mit wem, wo, wie, womit und wozu) verdeutlicht.[11] In dem hier

diskutierten Zusammenhang ist gerade auch das „Wozu“ von besonderem Belang. Wenn man also fragt, wozu gelernt werden soll, kann man Bildungsideale aufstellen, die wie folgt lauten könnten:

- Der Schüler/die Schülerin soll ein mündiger Bürger werden
- Der Schüler/die Schülerin soll Einstellungen und Handlungskompetenzen erwerben
- usw.

Es handelt sich also um übergeordnete Ziele, die an Bildungsidealen orientiert sind. Wissenserwerb ist zwar auch, kann aber nie alleine Ziel von Unterricht sein. Darum ist die Didaktik auch niemals nur die Frage nach dem Vermitteln von Wissen. Diese Aufgabe kann aber nicht nur von einem Fach geleistet werden, sondern ist Aufgabe des Fächerkanons als Ganzes.

Didaktik ist dabei als Teil der Pädagogik zu verstehen. Es sollen durch gezielte und geplante Prozesse Schülerinnen und Schüler an die erwachsene Umwelt herangeführt werden.[12] Wie die folgende Abbildung zeigt, sind dabei drei Ebenen zu beachten.

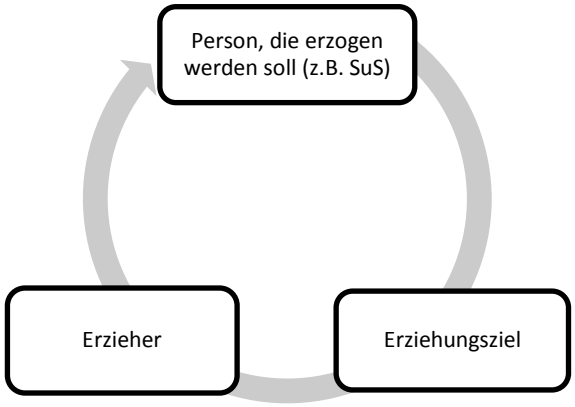


Abb. 1: Ebenen der Pädagogik. SuS=Schülerinnen und Schüler

Die Person, die erzogen werden soll, steht in unmittelbarem Zusammenhang zur Person, die erzieht. Ganz so wie der Schüler oder die Schülerin im ständigen Prozess mit dem Lehrer oder der Lehrerin zu finden ist. Die Interaktion wird bestimmt durch das Erziehungsziel in der Pädagogik, durch das Lernziel in der Didaktik. Diese Ziele kommen dabei von der zu erziehenden Person und begründen sich zum Beipiel auf ihr Vorwissen, ihre Lernfähigkeit und ihre Bedürfnisse.

Wenn man sich mit Didaktik beschäftigt, kann es vorkommen, dass man sich vorwiegend und manchmal auch ausschließlich mit der Frage nach der „Methode“ auseinandersetzt. Die Fachinhalte scheinen festgelegt. Die Wissenschaft der Didaktik findet allerdings auf verschiedenen Ebenen statt (vgl. Abb. 2).[11] Auf der Metaebene beschäftigt sich der Forscher und die Forscherin mit der Feststellung von Unterrichtsbeschaffenheiten. Es wird also systematisch reflektiert, welche Bedingungen und Konsequenzen im Unterricht in Hinsicht auf Lehr-Lern-Prozesse vorliegen. Zur Didaktik gehört im nächsten Schritt dann auch das Gestalten von Entwürfen als Verbesserungshilfen

auf der Basis der Beobachtungen der Metaebene. Dazu gehört die Analyse der Unterrichtsprozesse aus dem Beobachtungsprozess und anschließend die Planung von Unterrichtsprozessen. Schließlich wird auf der Prozessebene Unterricht konkret vollzogen.

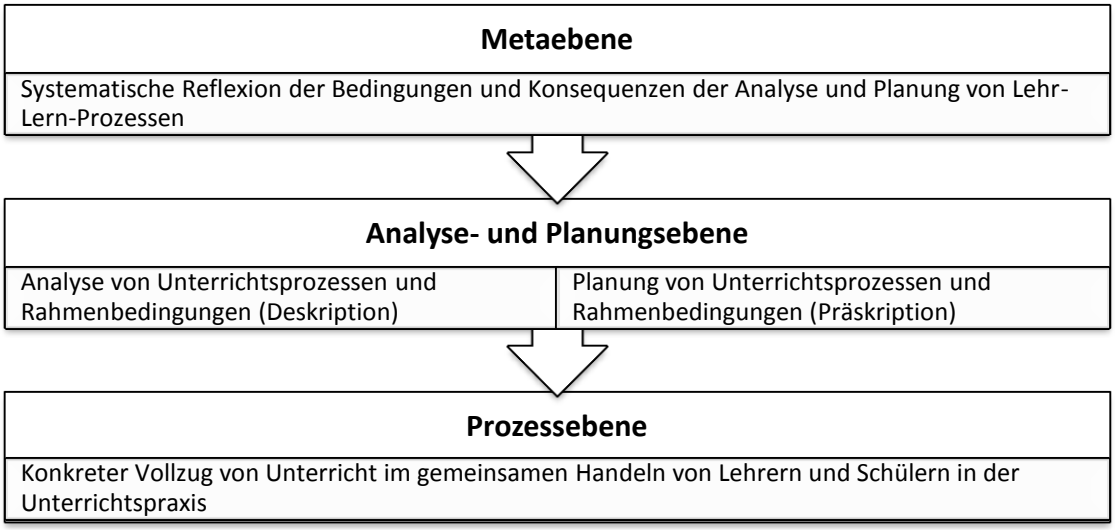


Abb. 2: Ebenen der didaktischen Forschung

Problematisch in der Durchdringung von Unterricht mit Hilfe didaktisch-wissenschaftlicher Methoden kann die Komplexitätsreduktion sein. In der Vorbereitung wählt man eine Forschungsfrage aus und zu dieser nur einige Variablen, welche im Zusammenhang zum zu beobachtenden Phänomen stehen. Dabei weiß man aber schon von vorne herein, dass diese Variablen nicht erschöpfend sind und dass es vermutlich noch eine Vielzahl an zustätzlichen Variablen gibt, welche entweder die gewählten Größen bestimmen oder die selbst direkt zum Phänomen beitragen. Die Komplexität von Unterricht lässt aber eine erschöpfende Betrachtung oft nicht zu. Zudem darf nicht vom erfassten Tatbestend unmittelbar auf das Wünschenswerte geschlossen werden, ganz im Sinne des naturalistischen Fehlschlusses.

1.3 Fragestellung und Methode

Prämissen

Wie bereits dargelegt, spielt Interdisziplinarität nicht nur in der wissenschaftlichen Forschung, sondern auch im Bereich schulischer und hochschulbezogener Didaktik eine immer wichtigere Rolle. Als Institution, die der Ausbildung der zukünftigen Lehrerinnen und Lehrern verpflichtet ist, ist der Kompetenzbereich der Interdisziplinarität in der Hochschullehre ein ebenso relevantes Thema. Um sich dem Themengebiet der interdisziplinären Didaktik zu nähern, werden folgende Prämissen getroffen:

- Interdisziplinarität wird verstanden als zeitlich begrenzte Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen, wobei keine ihre eigene Expertise verliert oder von der jeweils anderen absorbiert wird.
- Interdisziplinarität ist in der wissenschaftlichen Forschung notwendig, um sich Problemen zu nähern, die nur mit der Expertise verschiedener Disziplinen bearbeitet werden können.
- Interdisziplinarität ist in der Didaktik an der Schule notwendig, um Schülerinnen und Schüler mit Kompetenzen auszustatten, auf welche sie in realen Lebenssituationen, zum Beispiel im späteren Beruf, angewiesen sind.
- Interdisziplinarität ist in der Hochschuldidaktik notwendig, um werdende Lehrerinnen und Lehrer (bzw. werdende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler) auf die Anforderungen ihres späteren Berufslebens vorzubereiten.

Die hier genannten Prämissen begründen die Notwendigkeit der Arbeit und verdeutlichen den Schwerpunkt. Alle folgenden Fragestellungen wurden in Hinsicht darauf ausgewählt und werden anhand dieser diskutiert.

Inhaltliches Feld

Als Beispiel für Interdisziplinarität in Fachwissenschaft und Didaktik wird in der hier vorgelegten Arbeit vor allem auf das Beispiel der Verknüpfung von Naturwissenschaft und Ethik eingegangen. Die Themengebiete der Ethik wurden in Hinsicht auf ihre naturwissenschaftliche Relevanz ausgewählt. Als Fachwissenschaft interessiert hier vor allem die praktische Ethik, die als selbstständiges Fachgebiet innerhalb der ethischen Fachwissenschaft gilt. Dazu zählen Problemfelder, die besonders in den anwendungsbezogenen Bereich fallen und den Menschen als handelndes Individuum direkt tangieren. Der Bezug zur Technik und damit zur Naturwissenschaft ist in der Natur der Sache angelegt und wird hier genau reflektiert.

Methodik

Um die folgenden Fragestellungen zu bearbeiten, wurden theoretische und empirische Methoden herangezogen. Im ersten Teil der Arbeit wurden mit Hilfe umfangreicher Literaturrecherche hermeneutische Erklärungen aufgestellt.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden quantitative empirische Methoden herangezogen. Durch Erhebungen (Fragebögen) an Schulen und der Hochschule wurden Erkenntnisse über den Ist-Zustand gewonnen.

Aufbau der Arbeit und Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit teilt sich in drei Hauptteile auf. Im ersten Teil wird das Verhältnis von Naturwissenschaft und Ethik im historischen Verlauf betrachtet. Dabei liegt der Schwerpunkt der

Auseinandersetzung mit einschlägiger Literatur in der Frage nach der Entstehung der Disziplinen und den jeweiligen Wissenschaftssystemen.
Im zweiten Teil werden empirische Untersuchungen präsentiert. Diese bilden den Schwerpunkt der Arbeit und beziehen sich auf Schule und Hochschule. Durch Befragungen unter Schülerinnern und Schülern, Lehrerinnen und Lehrern, Studierenden sowie Promotionsstudierenden wird versucht ein Zusammenhang im Sinne des Prozess-Produkt-Zusammenhangs herzustellen. Das heißt, die Wechselwirkung zwischen Lehrendem und Lernendem wird auf mehreren Ebenen genauer untersucht. Es wird dabei davon ausgegangen, dass Wechselwirkungen in folgender Weise bestehen:

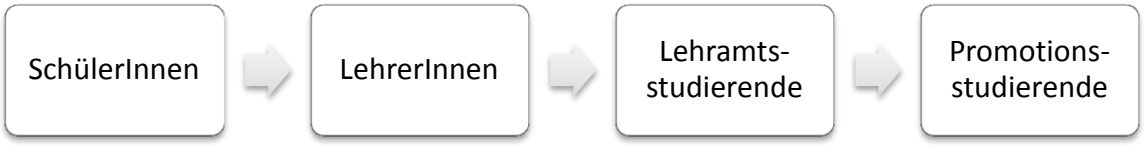


Abb. 3: Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ebenen in Bezug auf die empirischen Untersuchungen

Das heißt, die Lehrerinnen und Lehrer nehmen unmittelbar Einfluss auf die Schülerinnen und Schüler. Die Gruppe der Lehrerinnen und Lehrer resultiert aber gewissermaßen aus der Gruppe der Lehramtsstudierenden. Oder anders ausgedrückt, die Gruppe der Lehramtsstudierenden wird zukünftig in die Gruppe der Lehrerinnen und Lehrer eingehen. Die Gruppe der Promotionsstudierenden nehmen insofern Einfluss, als dass sie (abhängig vom Fachbereich) einen großen Teil der Lehre an der Universität tragen und so direkt an der Lehre der Lehramststudierenden beteiligt sind. In dieser Weise nimmt also das System der akademischen Forschung Einfluss auf den schulischen Bereich.

Bei den empirischen Erhebungen sind daher folgende Fragestellungen maßgeblich:

a) In Bezug auf die Schule

- In welcher Quantität wird an mittelhessischen Schulen derzeit fächerübergreifend unterrichtet?
- Welche Faktoren spielen beim fächerübergreifenden Lehren und Lernen eine Rolle (gibt es zum Beispiel schulformbezogene oder genderspezifische Unterschiede)?
- Welche Einstellung haben LehrerInnen und SchülerInnen zu fächerübergreifendem Unterricht?
- Wie kategorisieren SchülerInnen verschiedene Themen in Bezug auf den Fächerkanon?

b) In Bezug auf die Hochschule

- Wie gestaltet sich die Vorbereitung der Lehramtsstudierenden in Bezug auf fächerübergreifenden Unterricht?
- Welche Verschiedenheiten gibt es in Bezug auf die unterschiedlichen Studiengänge und die gewählten Fächerkombinationen?
- Welche Relevanz hat die Lehre für Promotionsstudierende der JLU und welche Bedeutung hat für sie Interdisziplinarität in Lehre und Forschung?

Anschließend sollen beide Bereiche miteinander verknüpft und diskutiert werden, inwiefern die akademische Forschung und der Betrieb an der Universität Einfluss nehmen kann auf fächerübergreifenden Unterricht an der Schule. In einer abschließenden Diskussion wird das Entwicklungspotential des Arbeitsgebiets der „Interdisziplinären Didaktik“ herausgearbeitet und eventuell mögliche, qualitative Nachfolgestudien vorgestellt. Zudem werden im dritten Teil der Arbeit konkrete Unterrichtsmaterialien als Hilfsmittel für fächerübergreifenden Unterricht diskutiert.

Kapitel 2

Der Zusammenhang zwischen Naturwissenschaft und Ethik im historischen Verlauf

Im Folgenden wird genauer auf das Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft eingegangen. Dabei wird explizit die Ethik als geisteswissenschaftliches Beipiel gewählt. Im Verlauf wird sich zeigen, dass die Naturwissenschaft immer wieder dann eng mit Technik und Produkten der Technologie in Verbindung gebracht wird, wenn sie auf die Ethik trifft.

Um eine Kategorisierung vornehmen zu können, wurden Beispiele aus verschiedenen prägnanten Zeitabschnitten gewählt, welche das Wissenschaftsbild des jeweiligen historischen Zeitabschnitts verdeutlichen sollen. Aus naheliegenden Gründen kann hier keine Vollständigkeit erzielt werden. Es wurde eine Auswahl getroffen, die für den hier diskutierten Diskurs sinnvoll erscheint und beispielhaft zeigen soll, welche Verhältnisse im Disziplinenkanon über die Zeit hinweg beobachtet werden können. Dabei werden folgende Zeitabschnitte behandelt:

- **Antike**
- **Mittelalter und wissenschaftliche Revolution**
- **Der Zeitabschnitt ab dem 18. Jahrhundert und die Neuzeit**

2.1 Antike

2.1.1 Der atomistische Materialismus nach Demokrit

Demokrit gilt zweifellos als ein Vorreiter der modernen Naturwissenschaft. Viele physikalische und chemische Disziplinen, angefangen von der klassischen Mechanik bis hin zu Bindungstheorien, wären ohne die Lehre vom Atom überhaupt nicht denkbar. Aber hatte Demokrit auch eine Verbindung zu dem was wir heute Geisteswissenschaft nennen? Oder gibt uns sein Atomismus eine Hilfestellung dazu, wie wir handeln sollen?

Als Begründer der atomistischen Lehre gelten vor allen Epikur, Leukipp und Demokrit.[13] Will man festhalten, worüber sich die Atomistiker Gedanken machten, dann wird man auf den ersten Blick wohl antworten, dass sich ihre Lehre mit Atomen, also mit dem Aufbau der Materie beschäftigte. Tiefgreifender könnte man sagen, dass sie nicht nur danach fragten woraus die Materie besteht, sondern auch danach, wie die Dinge ihre Eigenschaften erhalten. Mit anderen Worten untersuchten sie die Natur so, wie wir sie durch unsere Sinneswahrnehmung erfahren. Schaut man sich um, erblickt man Vielheit, Einzigartigkeit aber auch Gleichheit. Die Frage nach der Interpretation der empirischen Dinge stand also im Vordergrund. In einer Zeit, in der das Reden über Materie erst aufkam, mussten sich die Menschen aber vor allem fragen, wie man über Materie denken kann. Das unterscheidet den antiken Atomismus gravierend von der heutigen Naturwissenschaft, da nun die experimentelle Überprüfung des Denkens im Vordergrund steht.[14]

Für Demokrits Lehre sind drei Sätze von grundlegender Bedeutung:[15]

1. Es gibt einen grenzenlosen Raum (das Nichtseiende)
2. Es gibt eine unendliche Masse, die sich in Form von unendlich verschiedenen Atomen im Leeren bewegt (das Seiende)
3. Es gibt eine Notwendigkeit, welche alles ordnet

Demokrit postulierte das Vakuum und die Vielartigkeit der Atome. Wachstum und Zerfall seien nicht möglich ohne eine Leere, die Platz dazu biete. Allerdings existierte die Leere für Demokrit ebenso wie die Atome selbst. Anders ausgedrückt: Das Seiende und das Nichtseiende existieren nebeneinander.[16]

Demokrit unterscheidet die Atome anhand von drei Merkmalen: Gestalt, Anordnung und Lage. Einleuchtend werden diese Eigenschaften an dem aktuellen Beispiel von Aminosäuren, welche Peptidbindungen eingehen. Abbildung 4 zeigt drei verschiedene Aminosäuren. Glycin, Alanin und Valin tragen unterschiedliche Alkylreste, so unterscheiden sie sich also in ihrer *Gestalt*. Man könnte sagen, Valin ist am größten und hat im Gegensatz zu Alanin eine verzweigte Kette. Glycin ist die einfachste Aminosäure und ihr Kohlenstoff ist achiral. Verbindet man diese drei Aminosäuren miteinander entsteht ein Tripeptid. In Abbildung 4 sind zwei mögliche Peptide dargestellt.

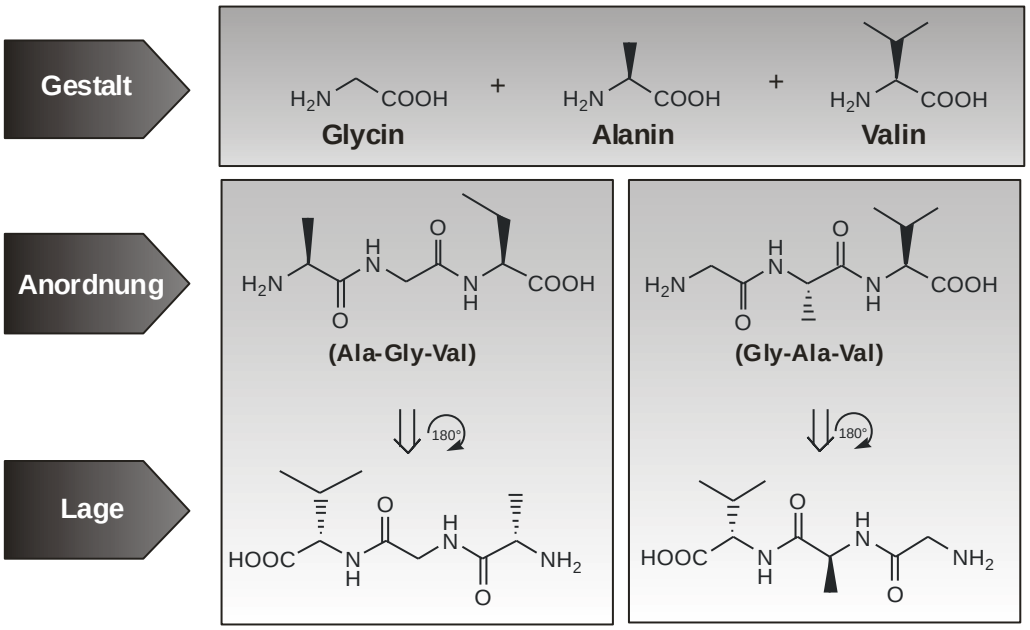


Abb. 4: Unterscheidung von Atomen in Gestalt, Anordnung und Lage am Beispiel der Aminosäuren

Die Reihenfolge der Aminosäuren in Peptiden kann man mit Hilfe von Drei-Buchstaben-Codes angeben. Das linke Peptid, in dem Alanin an Glycin und dieses wiederum an Valin geknüpft ist (Ala-Gly-Val) unterscheidet sich vom rechten darin, dass Alanin und Glycin vertauscht wurden (Gly-Ala-Val). Die *Anordnung* der einzelnen Aminosäuren im Peptid ist also unterschiedlich. Die in der dritten Zeile abgebildeten Moleküle ergeben sich durch eine Rotation um 180°, man betrachtet dasselbe Molekül quasi von der Hinterseite. Die jeweils übereinander stehenden Peptide unterscheiden sich also nur anhand ihrer *Lage*, ihr Aufbau und die Anordnung der Aminosäuren sind gleich.

Die Gestalt der Atome ist laut Demokrit vielfältig variierbar. So gibt es runde und eckige, gewinkelte und lineare, gekrümmte und harkenförmige Atome. Im Vergleich zur Lage ist die Anordnung etwas Statisches. Sie resultiert aus der Berührung der Atome. Die Lage selbst ist einem Wandel ausgesetzt. Heute würde man vermutlich ergänzend von räumlicher Lage sprechen.[15] Am meisten Wert legte Demokrit jedoch auf die Gestalt, denn durch sie sind die Atome in der Lage sich ineinander zu verhaken und so zu einem Konglomerat heran zu wachsen. Alles Materielle besteht demnach also aus Ansammlungen von Atomen.

Obwohl Demokrit den Atomen zunächst die genannten Eigenschaften zuordnet, nimmt er jedoch an, dass es unter ihnen keine qualitativen Unterschiede gibt. Qualitätsmerkmale die empirisch wahrgenommene Gegenständen aufweisen, wie Farbe, Geschmack oder Töne, entstehen erst durch die Wahrnehmung selbst, sind aber demnach keine Eigenschaften, welche von den Atomen von Hause aus mitgeliefert werden. Natürlich sind für Demokrit die Atome unteilbar. Man könnte sich jetzt darüber streiten, ob man die Unteilbarkeit der Atome als Qualitätsmerkmal ansehen möchte. Für Demokrit jedenfalls lag diese Eigenschaft nicht im Bereich der Wahrnehmung und konnte somit auch kein Qualitätsmerkmal darstellen. Vielleicht würde man im Zeitalter von

Rasterelektronenmikroskopie und ähnlichen analytischen Methoden diesen Sachverhalt anders bewerten.[16]

Für die Atomistiker ist alles durch Atome beschreibbar. Selbst die Seele bestehe aus kugelförmigen Atomen. Für Demokrit kommen hier aufgrund ihrer Beschaffenheit überhaupt nur die kugelförmigen Atome in Frage. Das lässt Raum für die Spekulation, ob den Atomen nicht doch eine Qualität zuzusprechen wäre. Aber unabhängig davon, ob man nun ein kugelförmiges und ein eckiges Atom qualitativ unterscheiden müsste, kann man doch gerade an diesem Diskurs etwas über die Denkstruktur der Atomistiker lernen. Die heute strikt vollzogene Trennung zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft steht für Demokrit außer Frage. Er erklärt theologische und philosophische Phänomene wie die Götter oder den Geist mit Hilfe eines Modells, dass wir heute eher als naturwissenschaftlich beschreiben würden. Mit Sicherheit würde die aktuelle Naturwissenschaft sich auf einen solchen Vergleich nicht einlassen und auch die Theologie wollte wohl nicht auf Atome beschränkt sein. Bei Demokrit jedoch geht das eine mit dem anderen einher.[14] Die letzte Wirklichkeit wird durch die Atome bestimmt und beeinflusst so in gravierender Weise die Gesamtwahrnehmung. Diese Weltsicht wird als materialistisch und monistisch bezeichnet. Die Materie bestehend aus Atomen ist das einzige Grundprinzip, das anerkannt wird.

Damit sich die Atome zu einem Atomverband ordnen bedarf es aber noch etwas anderem, nämlich einer Bewegung, welche es den Atomen erlaubt sich zu begegnen. Die Kinetik des Demokrit bereitet in gewisser Weise der Brown‘schen Molekularbewegung den Weg, in der eine Bewegung aller Teilchen abhängig von der Temperatur beschrieben wurde.[17, 18] Allerdings postulierte Demokrit, dass die Bewegungen der Teilchen zunächst voneinander unabhängig seien. Eine sogenannte prä-kosmische Bewegung versetzt die Atome in einen völlig unkoordinierten Zustand. Nähern sich die Atome aber, ändert sich die Bewegung damit es schließlich zu einer Bindung kommen kann. Diese Bewegung nennt man kosmologisch. In der Naturwissenschaft wird heute üblicherweise das Lennard-Jones-Potential verwendet um Wechselwirkungen zwischen Atomen zu verdeutlichen.[19] Dieses moderne Modell kann man durchaus mit der Kinetik des Demokrit in Beziehung stellen.

In Abbildung 5 ist die Kurve des Lennard-Jones-Potentials gezeigt, die mit zunehmendem r gegen Null läuft. Sie beschreibt die energetische Änderung zweier Atome mit dem Abstand r. Bring man nun, von rechts kommend, zwei Atome näher aneinander, dann stellt man fest, dass die Kurve bis zu einem Minimum abfällt. Dort liegt der Punkt mit der kleinsten Energie, der also energetisch am günstigsten ist und damit diesen bestimmten Abstand am idealsten macht (Bindungsabstand). Bringt man die Atome noch weiter zusammen, steigt die Kurve mit r^6 an, das heißt, die Atome stoßen sich wieder ab. Das Lennard-Jones-Potential beschreibt sozusagen die kosmologische Bewegung. Die prä-kosmische Bewegung findet dann statt, wenn die Atome so weit voneinander entfernt sind, dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen. Demokrit arbeitete natürlich nicht mit einer Graphik, die seine Kinetik wiederspiegelte und er hatte sicherlich auch andere Vorstellungen von einer Bindung wie man sie heute hat. Abbildung 5 dient daher nur als anschauliches Beispiel. Sicherlich ist es nicht möglich die Bewegungslehre von Demokrit 1:1 auf das Lennard-Jones-Potential zu übertragen.

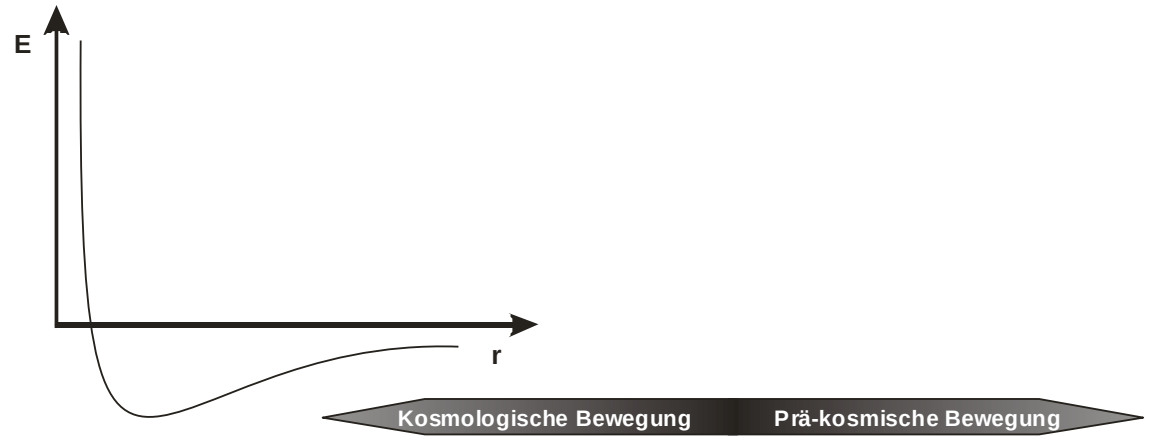


Abb. 5: Lennard-Jones-Potential im Vergleich mit Demokrits postulierter Atomwechselwirkung

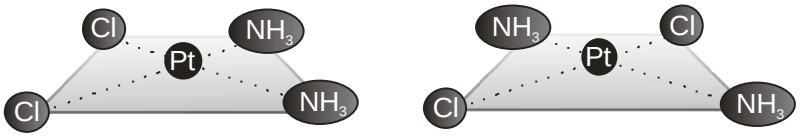
Im Gegensatz zur modernen Naturwissenschaft wird im Zusammenhang mit Demokrits Atomismus aber auch nach der Ursache der Bewegung gefragt. Allerdings geben die Atomisten selbst darauf keine Antwort. Aristoteles sagt später dazu: „Eine Begründung für das, was immer war und ist, ist nicht möglich, weil eben das, was keinen Anfang hat, auch keiner Begründung bedarf“. Für Demokrit ist die Bewegung genau so ein Phänomen ohne Anfang und ohne Ende.[15] Allerdings sollte man deutlich davon Abstand nehmen, zu behaupten, dass die Bewegung keinen Grund habe, nur weil man sie nicht begründete. Des Weiteren wird der Art der Bewegung Beachtung geschenkt. Lukrez, der den Atomismus sozusagen weiterentwickelt hat, führt in seinem Werk *de rerum natura* dazu folgendes aus:[20, 21]

„Dass du auch das noch hierbei erkennst, das wünsche ich heftig, dass die Körper, wenn sie sich durch das Leere senkrecht nach unten bewegen infolge ihres eigenen Gewichts, zu ganz unbestimmten Zeitpunkten und an unbestimmten Orten von ihrer Bahn ein wenig abtreiben, doch nur um soviel, dass man sagen könnte, der Bewegungsimpuls habe sich geändert. Hätten sie nämlich nicht die Gewohnheit abzubiegen, dann würden sie alle senkrecht nach unten wie Regentropfen durch das tiefe Leere fallen, und weder Zusammenstoß wäre entstanden noch Rückprall geschaffen den Urkörpern. So hätte nichts jemals die Natur geschaffen. Wenn aber etwa einer glaubt, die schweren Körper könnten, indem sie schneller senkrecht durch das Leere eilen, von oben auf die Leichteren fallen und so Rückstöße erzeugen, welche zeugerische Bewegungen Denn alles, was durch Wasser und dünne Luft fällt, das muss seinem Gewicht entsprechend seinen Fall beschleunigen, deshalb nämlich, weil der Wasserkörper und die zarte Natur der Luft nicht in gleicher Weise ein Ding zerstören können, sondern vor den schwereren weichen sie überwältigt schnell zurück. Dagegen kann sich keinem Ding von keiner Seite noch zu irgendeiner Zeit das körperlose Leere als Halt entgegenstellen, sondern wie seine Natur es erfordert, weicht es ständig aus. Deshalb müssen alle Körper durch das ruhende Leere in gleicher Geschwindigkeit bei ungleichen Gewichten sich bewegen. Nicht also werden auf die leichteren Körper von oben die schwereren fallen können.“

hervorbringen könnten, dann weicht er weit ins Weglose ab von wahren Begründungen.

Lukrez sagt also, dass die Geschwindigkeit der Atome von ihrem Gewicht nur dann abhängt, wenn sie sich nicht im Vakuum befinden, ein Phänomen, dass heute weitläufig bekannt ist und oft experimentell mit dem Fallen einer Feder und einer Metallkugel im Vakuum veranschaulicht wird. Die Geschwindigkeit wirft also gleichsam die Frage nach der Schwere auf.[22] Diesen Zusammenhang könnte man heute zum Beispiel mit der Formel $E_{pot}=m\cdot g\cdot h$ beschreiben, weil wir um die Abhängigkeit von Masse (m), Erdanziehungskraft (g) und Höhe (h) wissen. Lukrez schließt nun was die Art der Atombewegung betrifft darauf, dass die Flugbahnen der Atome gebogen sein müssen, da sie sich sonst nie begegnen würden. Man könnte vergleichend sagen, dass sich die präkosmische Bewegung in die kosmologische verwandeln muss.

Nach all dem, was bisher über Atome gesagt wurde, kann man sich nun wagen danach zu fragen, wie denn nun die empirisch wahrnehmbaren Dinge entstehen. Wie schon erwähnt, misst Demokrit der Gestalt der Atome eine große Bedeutung zu, denn die Atome seien allein aufgrund ihrer Gestalt dazu in der Lage sich miteinander zu verbinden. Die runden Atome zum Beispiel seien unfähig sich miteinander zu vereinigen und blieben so immer in Bewegung, was wohl einer der wichtigsten Gründe ist, warum man die Seele gerade aus runden Atomen gestaltet betrachten sollte. Andererseits gäbe es Atome mit Harken, die nur mit bestimmten anderen Atomen zusammenpassen, was an das aus der Biologie bekannte Schlüssel-Schloss-Prinzip erinnert, das beschreibt, warum Substrate nur an bestimmte Enzyme binden. Das Prinzip des „Zusammenpassens“ ist noch viel essentieller, als man vielleicht denken mag. So ist eine der verschiedenen Basen in der DNA (Adenin, Thymin, Guanin oder Cytosin) auch nicht in der Lage mit jeder beliebigen anderen zu binden, warum sich Basenpaare bilden. Das alles hat Demokrit natürlich nicht gewusst, aber seine Bindungstheorie zeigt doch, dass sie sich durchaus mit den heutigen Erkenntnissen messen kann.
Die Bildung von Atomverbänden wirft nun schließlich noch zwei Fragen auf. Erstens, warum es so viel Verschiedenes gibt, wenn doch alles aus demselben Material besteht und zweitens warum es so viel Gleiches gibt, wenn die Bewegung der Atome doch unwillkürlich ist. Für die Entstehung der Dinge ist zuerst die Leere unbedingt notwendig, denn durch sie sind zunächst einmal die Atome voneinander getrennt. Durch die unterschiedliche Gestalt, Anordnung und Lage der Atome sind unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten denkbar. So lässt sich auch die Dichte erklären. Demokrit beschreibt, dass Dinge, die bei größerem Volumen gleich schwer wie ein anderer Gegenstand sind, mehr Leere einschließen. Das Phänomen, dass Moleküle, die aus den gleichen Atomen bestehen und sich nur in ihrer Struktur, also in der Anordnung unterscheiden, völlig unterschiedliche Eigenschaften haben, treffen wir heute noch häufig an.



cis-Platin *trans*-Platin

Abb. 6: *cis*- und *trans*-Platin als Beispiel für Isomere mit unterschiedlichen Eigenschaften

Abbildung 6 zeigt zwei Platin Komplexe mit der gleichen Summenformel, aber unterschiedlicher räumlicher Anordnung. In ihren Eigenschaften unterscheiden sie sich jedoch enorm. *cis*-Platin wird als Cytostatika eingesetzt. Die Reaktion, die zwischen dem Komplex und der DNA der Tumorzellen abläuft, macht sich den *trans*-Effekt zunutze, weshalb die beiden Aminogruppen unversehrt bleiben. Aufgrund der räumlichen Anordnung des *trans*-Komplexes kann der Mechanismus hier nicht ablaufen. Dieser Komplex ist also inaktiv und behindert die Transkription der DNA nicht.[23]
Man kann also sagen, dass sich die Vielfalt aus der unendlichen Kombinationsmöglichkeit der Atome ergibt. Schon allein die unterschiedliche Anordnung kann völlig andere Dinge hervorbringen. Das postulierte schon Demokrit und die moderne Naturwissenschaft kann es experimentell bestätigen.
Allerdings bleibt dabei jedoch die Frage offen, warum es dann auch so viel Gleichartiges gibt, warum man zum Beispiel Pflanzen nach Arten und Gattungen einteilen kann und warum eine Eiche immer die ihrer Art entsprechenden typischen Eichenblätter trägt. Auf den ersten Blick könnte man meinen, dass Demokrit die Entstehung der Dinge als zufällig betrachtet. Dem ist jedoch nicht so. In diesem Zusammenhang werden zwei Begriffe wichtig. Zum einen das αὐτόματον, also das, was von selbst eintritt. Für dieses αὐτόματον gibt es keine Ursache, aber es ist nicht mit dem Zufall gleichzusetzten, zumindest nicht in diesem Sinne wie er heute umgangssprachlich gebraucht wird. Zum anderen steht die ἀνάγκη also die Notwendigkeit im Vordergrund. Die Atomisten propagierten für alles was entsteht und vergeht eine Notwendigkeit. Man kann sagen, dass das αὐτόματον mit der ἀνάγκη zusammenfällt.[15]
Zuletzt bleibt die Frage, ob Demokrits Ansicht von aus Atomen bestehenden Göttern unreligiös ist und ob er damit eine anti-theologische Linie fährt. Also: Was wollte Demokrit mit seiner Lehre bewirken? Man kann deutlich sagen, dass der Atomismus nicht dazu gedacht war einem jeden Menschen in seinem täglichen Leben zu helfen. Vielmehr stand im Vordergrund, dass der Weise einen gewissen Status erreichte.[13] Dieser Status ist durch Seelenruhe und maßvollen Lustgewinn gekennzeichnet und wird durch Beunruhigung und Aufregung beeinträchtigt. Des weiteren propagierte Demokrit, dass der Mensch erkennen muss, dass er die Wirklichkeit nicht vor Augen hat, dass eine Blume nicht wirklich duftet und das Kirschen nicht tatsächlich rot sind, sondern, dass es in Wirklichkeit nur Atome und Leere gibt.[14] Letztlich muss beachtet werden, dass sich bezüglich des Zwecks der Atomistik selbst Epikur und Demokrit nicht einig waren und das daher keine allgemeingültige Aussage zum gesamten Atomismus gemacht werden kann.

Der Atomismus nach Demokrit stellt sich als erstaunlich vielschichtiges Konstrukt dar. Die Aussagen, die er über die Leere macht, konnten jedoch nicht alle seine Zeitgenossen teilen. Platon wird zum Beispiel die Existenz einer Leere völlig ausschließen. Vom heutigen Standpunkt aus ist das Postulat des Vakuums und der verschiedenartigen Atome jedoch fast schon als revolutionär zu bezeichnen. Selbst einer der bekanntesten theoretischen Physiker der Neuzeit, Ludwig Boltzmann, greift auf Demokrit zurück und wirft die Frage auf, ob die Atomistik nicht doch auch große Vorzüge vor der Phänomenologie hat.[24]

An der Lehre Demokrits kann man gut zeigen, zu welchem Ergebnis eine Verhältnis-bestimmung von Natur- und Geisteswissenschaft in der vorchristlichen Antike führen würde. Theologische Phänomene werden mit naturwissenschaftlichen Erklärungen begründet, ein Vorgehen, das heute wohl in dieser Form keine Anwendung mehr finden würde und beiden Disziplinen nicht zulänglich wäre. Auf der anderen Seite kommen sich vermutlich Geisteswissenschaft und Naturwissenschaft heute nicht nahe, weil jede Disziplin ihre eigenen Maßstäbe an den Gesprächspartner anlegt. Dabei kann schon die Lektüre Demokrits zeigen, dass das Verwenden von naturwissenschaftlichen Normen an theologisches Gedankengut zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis führt. Ebenso bleibt zu überlegen, was Demokrit mit diesen und anderen Annahmen bezwecken wollte. Es ging ihm sicherlich nicht darum ethisch weit anwendbare Dogmen aufzustellen, sondern vielmehr darum, den Mensch von dem Irrglauben abzubringen, er erfasse alles so wie es ist. Die Bildung und Fortbildung der Gelehrten und die Frage danach, was wir eigentlich erkennen und wahrnehmen stand im Mittelpunkt. Die materialistisch-monistische Weltsicht war Grund, warum Demokrit als letzte Wirklichkeit nur die Atome kannte. Das hatte zur Folge, dass auch nicht materielle Dinge mit Hilfe der Atome erklärt werden musste. Dazu gehören sowohl religiöse Phänomene als auch die Ethik. Aber das Handeln lag wohl nicht im Interesse von Demokrit. Wahrscheinlich würde die Erklärung der Ethik aus Atomen auch zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis führen. Moor erkannte später richtig, dass aus Sätzen über das Sein, also aus der Beschreibung der Materie, nicht zwangsläufig Sätze über das Sollen folgen müssen.

Allerdings bleibt zuletzt festzuhalten, dass Demokrits Lehre heute im naturwissenschaftlichen Bereich doch eine hohe Anerkennung verdient hat, denn die Atomistik gibt es heute noch und sie ist zu einer essentiellen Grundlage geworden.

2.1.2 Die platonische Naturphilosophie

Stellt man heute die Frage nach Platon, vor allem die Frage nach seinen Werken und Wirken, so sind vielfältige Antworten zu erwarten. Platon war nicht nur, wie manche meinen mögen, ein Philosoph der Antike, der sich eben nur mit Geistesfragen auseinander gesetzt hat, sondern wir haben ihm auch viele naturwissenschaftliche Modelle zu verdanken. Er vereinigte das, was wir heute mathematisch-konstruktives Denken nennen mit ontologischen Gedankengängen. Seine Theorien

sind sowohl Basis für die mittelalterliche Physik, als auch für die Astronomie der Neuzeit. So können beispielsweise Arithmetik, Geometrie und Stereometrie Platons Lehren zugerechnet werden.[25]
Platon selbst, wenn er sich sowohl mit Staatsmodellen, als auch mit Naturphilosophie beschäftigte, stellt die Frage nach der Einteilung in Geisteswissenschaft und Naturwissenschaft freilich nicht, auch wenn ihn manche heute als Begründer der theoretischen Naturwissenschaft betrachten mögen. Nur im Nachhinein kann man sich fragen ob Platon nun Natur- oder Geisteswissenschaftler war, wenn auch eine solche Charakterisierung völlig unzureichend wäre, da das Reden von getrennten Wissenschaften ein vergleichsweise neues Problem darstellt. Platons Erkenntnisinteresse lag nicht im Fortschritt der Wissenschaft, die sich gerade heute vor allem um anwendbaren Fortschritt bemüht. Überhaupt stand die Frage nach der Anwendung, falls sie gestellt wurde, hinten an. Platon beschäftigte sich in gewisser Weise mit Grundlagen. Was erhält die Welt und woraus ist alles geworden? Warum sind die Dinge so wie sie sind?[26] Würde man diese Fragestellungen in die heutige Zeit übertragen, könnten sie sowohl von Natur- als auch von Geisteswissenschaftler gestellt worden sein. Doch auch wenn Platon unter anderem große naturwissenschaftliche Modelle hervorgebracht hat, dann scheinen es heutzutage doch eher die Geisteswissenschaftler zu sein, die sich mit seinen Werken auseinandersetzen.[27]
Im Phaidon, der zu den mittleren Dialogen des Platon gehört, zeichnet sich ein klares Denkmuster ab.[28] Die Art und Weise wie über elementare Dinge des täglichen Lebens entschieden wird, ist rein logisch. Die Unsterblichkeit der Seele wird durchdacht und in einer Aneinanderreihung von Prämissen logisch verknüpft und damit quasi bewiesen.[29] In diesem Werk entfaltet Platon seine Ideenlehre in einem fast tragischen Dialog kurz vor Sokrates Tod. Die Frage danach, was unter Platons Ideenlehre eigentlich zu verstehen ist, kann gut an einem mathematischen Beispiel veranschaulicht werden.[30]
Ein jeder Kreis, der irgendwann an eine Tafel gemalt wurde, oder den ein Schüler in sein Mathematikheft gezeichnet oder mit einem Zirkel gezogen hat, hat Anteil an der Idee eines Kreises. Gemeint ist, dass keiner dieser eben erwähnten Kreise wirklich identisch, wirklich gleich mit einem anderen ist. Und auch nicht gleich mit der Idee eines Kreises. Auf die Frage, was ein Kreis eigentlich ist, kann man mit einer mathematischen Formel antworten. Eben diese Formel beschreibt den ideellen Kreis, den es eigentlich nicht gibt, der aber die Idee eines Kreises verkörpert. Jeder von Menschen dann tatsächlich gemachte Kreis hat zwar einen Anteil an dem theoretischen Kreis, kann ihm aber niemals gleich sein. Auf den ersten Blick scheint das ein nettes gedankliches Spiel zu sein, doch was muss man nun für naturwissenschaftliche Beobachtungen annehmen? Weizsäcker verdeutlicht diesen Sachverhalt, indem er von dem Zoologen Lorenz und den Graugansbeobachtungen berichtet.[30] Was bedeutet es also, wenn es keine Graugans gibt, die sich genau entsprechend der ideellen Graugans verhält? Ist dann eine Graugans überhaupt möglich, oder erinnern uns diese Vögel nur an etwas, dass die Ethnologen Graugans nennen? Allerdings wird oft in Frage gestellt, ob Platon ein Individuum auch als Idee bezeichnet hätte.[26]

Ein weiteres modernes Beispiel könnte man in der Kristallstrukturanalyse finden. Abbildung 7 zeigt die Molekülstruktur von $[Cu_4(\mu_3\text{-}OH)_2(\mu_2\text{-}OH)_2(CH_3CN)_2(phen)_4](BF_4)_2$.

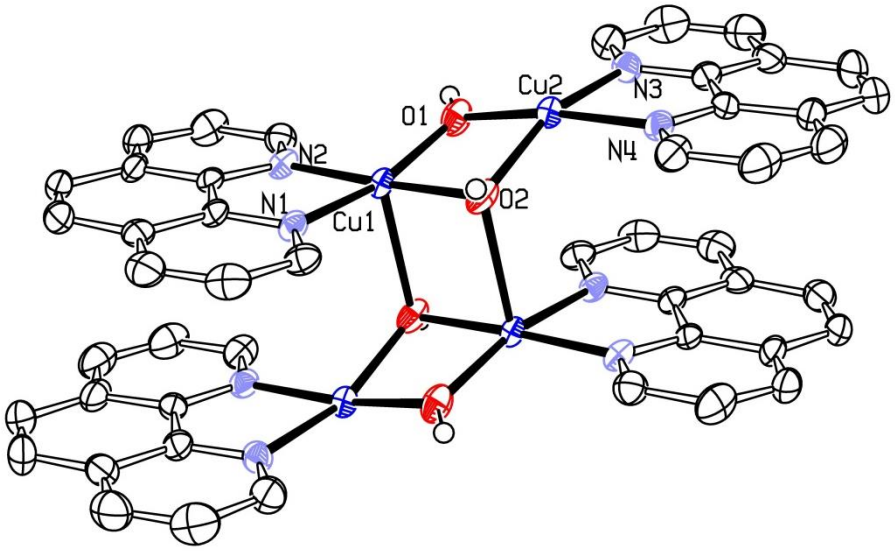


Abb. 7: Molekülstruktur von $[Cu_4(\mu_3\text{-}OH)_2(\mu_2\text{-}OH)_2(CH_3CN)_2(phen)_4](BF_4)_2$

Die Berechnung der Daten, die aus der Messung resultierten gestaltete sich in diesem Fall besonders schwierig. Die geschichtete Anordnung der unabhängigen Einheiten hat zur Folge, dass entlang der c- Achse ein Korridor frei wird, der den Lösungsmittelmolekülen Platz bietet. Viel Platz bedeutet auch Bewegungsraum. Dadurch konnten die Lösungsmittelmoleküle nicht eindeutig zugerechnet werden. Insgesamt ergibt sich also für die Kristallstruktur dieses bis-μ-Hydroxidokomplexes ein relativ großer Fehler. Die Frage, die sich hier stellt ist also, ob es diese Kristallstruktur, wirklich gibt, oder ob es nur eine theoretisch ideelle Struktur gibt, an die die Struktur des oben gezeigten Moleküls erinnert beziehungsweise, an der sie Anteil hat. Wenn dies zutrifft, so bleibt zu überlegen, welche Auswirkungen diese Erkenntnis für die Reproduzierbarkeit chemischer Synthesen hätte und welche Aussagen man anhand von Kristallstrukturen tatsächlich treffen kann. Weizsäcker kritisiert in seinem Vortrag ebenfalls, dass die heutige Naturwissenschaft nicht nach dem eigentlichen Phänomen fragt.[30] Seiner Meinung nach müsste man, um Platon gerecht zu werden, nicht nur danach fragen wie Naturgesetze funktionieren, sondern auch warum. Es ist also nicht nur relevant, dass ein bis-μ-Hydroxidokomplex in einer triklinen Raumgruppe auskristallisiert, sondern auch warum. Einsichtig ist jedoch, dass die Idee eines idealen Gitters niemals synthetisch nachgebildet werden kann. Dem wird vermutlich auch die moderne Naturwissenschaft zustimmen, denn sie hat sich bereits ein großes Wissen über Fehlordnungen, Vernetzungen und Defektstrukturen innerhalb eines Gitters erarbeitet. Doch all das Wissen über solche Anomalien in Kristallen erklärt das eigentliche Phänomen und das Warum noch nicht.

An dieser Stelle wird wieder die Suche nach den Grundprinzipien spürbar. Die Frage wird laut, was Realität eigentlich ist.[31] Obwohl die rationale griechische Naturerklärung rein spekulativ ist, kann

man doch an manchen Punkten feststellen, dass sich die heutigen und die damaligen Denkmodelle an so einigen Stellen ähneln. An den genannten Beispielen ist gut nachzuvollziehen, was Platon mit seinen Ideen eigentlich gemeint hat. Aber kann man die Definition einer Idee auch verallgemeinern? Was ist eine Idee also, wenn man auf Beispiele verzichten möchte? Platon rechnet den Ideen verschiedene Eigenschaften zu. Die Ideen seien wahr, gut und schön. Natürlich hat Platon wiederum seine eigenen Definitionen von diesen Attributen, wichtig ist jedoch, was mit ihnen veranschaulicht werden soll, denn sie können stellvertretend gebraucht werden. Die Eigenschaft „wahr“ steht für die Wissenschaft, „gut“ für die Ethik und „schön“ für Ästhetik. So findet eine Verknüpfung der Wissenschaften auf der Ebene der Ideen statt.[30] Allerdings handelt es sich um einen rein geistlichen Zusammenhang und es bleibt im Weiteren zu überlegen, ob ein solcher Zusammenhang auch in der Wirklichkeit bestand, also ob es eine Verknüpfung zwischen Naturwissenschaft und Ethik im wahren gab. Dazu ist es allerdings zuerst notwendig einen Blick auf die Naturphilosophie Platons zu werfen.

Besonders relevant für eine chemische Diskussion ist Platons Naturphilosophie, die er im Timaios entfaltet.[32] Dort wird ein Problem durchleuchtet, dass man heute durchaus zum Bereich der Teilchenforschung rechnen würde. Obwohl Platon die Welt nicht als seelenlose Mechanik versteht, wie es heute durchaus oft postuliert wird, bring ein Blick auf die „antike theoretische Chemie“ durchaus einige Erkenntnisse mit sich.[33]

In Platons Verständnis setzt sich die Materie aus vier verschiedenen Körpern zusammen, die vier verschiedenen Elementen zugeordnet werden können.[32] Abbildung 8 zeigt in welcher Weise Platon die Körper den Elementen zugeordnet hat. Dies geschah natürlich nicht bloß willkürlich. Der Timaios liefert die Begründung der Zuordnung gleich mit. Der Tetraeder beispielsweise, als kleinster und spitzester der vier Elementarkörper, wurde dem Feuer zugewiesen, da er aufgrund seiner spitzen Winkel in andere Köper eindringen kann. Hier ist zu betonen, dass Platon im Gegensatz zu Demokrit, das Leere, also das Vakuum ablehnt.

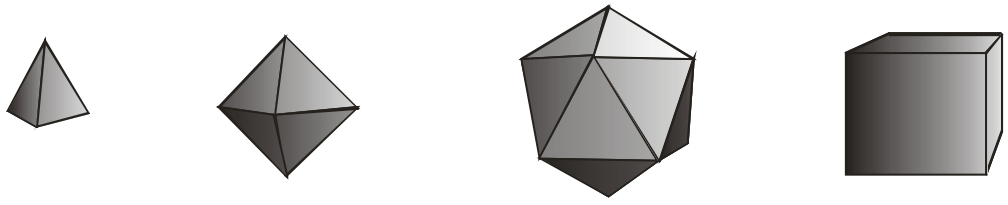


Abb. 8: Vier der Platonischen Körper

Allerdings wird das Modell Platons vor allem dann chemisch interessant, wenn es um die Wechselwirkungen der einzelnen Teilchen untereinander geht. Platons Theorie der Elementarkörper basiert auf Dreiecken. Die ersten drei in Abbildung 8 gezeigten Körper haben

durchweg gleichschenklige Dreiecke als Grundflächen. Daher legt Platon fest, dass diese drei Körper in der Lage sind, ineinander überzugehen. Folgende Gleichung liegt dabei zugrunde.

Abb. 9: Reaktion zwischen den Elementarkörpern

Auf den ersten Blick scheint die Anzahl der ineinander übergehenden Körper willkürlich gewählt zu sein, doch bei genauerer Betrachtung stellt man fest, dass die Dreiecksflächen immer konstant bleiben. Es liegen immer 40 Dreiecksflächen vor. Man könnte also einen Flächenerhaltungssatz postulieren.[27] Dies wäre vergleichbar mit dem Massenerhaltungssatz, der für chemische Reaktionen gültig ist und der besagt, dass die Stoffmenge bei einer Reaktion erhalten bleiben muss. Man könnte in gewisser Weise die Dreieckflächen als kleinste Baueinheiten der Elemente verstehen. Auf den Begriff Atome muss bewusst verzichtet werden, da Platon ihn nicht nur selbst nicht gebraucht, sondern weil er sich klar von den Atomistikern wie Demokrit abgrenzt.[34] Selbst das Problem der Materialität stellt sich Platon nicht. Er geht nicht davon aus, dass es kleinste unteilbare und materielle Einheiten gibt, wie es Demokrit tut. Vielmehr ist er natürlich der Meinung, sonst würde es auch keinen Übergang zwischen den Elementen geben, dass die Elementarkörper zerlegt werden können, nämlich in Dreiecke. Die Frage nach der Materialität stellt sich erst dann, wenn man danach fragt, ob man ein Dreieck als materiell bezeichnen kann. Platons Ansicht nach gibt es kleinste Teilchen, die Elementarkörper, die zerlegt werden können, deren Bestandteile, also die Dreiecke, selbst aber nicht mehr als materiell zu betrachten sind, während bei den Atomistikern den Atomen ein Gewicht und eine Ausdehnung zukommt.[34] Warum Platon jedoch Demokrit in seinen Werken erst gar nicht erwähnte, kann verschiedene Gründe haben. Zum einen kann man davon ausgehen, dass der Atomismus in Athen nicht mit Demokrits Namen in Verbindung gebracht wurde. Vielleicht hat Platon aber auch über Demokrit geschwiegen, weil er ihn als ebenbürtig anerkannte. Desweiteren lässt Platon in seinen Dialogen stets andere für ihn sprechen. Aus chronologischen Gründen konnte zum Beispiel Sokrates Demokrit nicht gekannt haben. Welche Möglichkeit nun die Richtige sein könnte, ist zweitrangig. Fest steht, dass Platon Kritik am Atomismus geübt hat und deshalb um ihn gewusst haben muss.[15]

Von einfachen Übergängen der Elementarkörper untereinander abgesehen, führt Platon zudem aus, zu welchem Produkt eine Reaktion zwischen den Elementen führen könnte. Bisweilen wurden sogar Reaktionsmechanismen postuliert.[27] Interessant ist allerdings, dass es aufgrund dieser molekularen Abläufe gelingt physikalische Prozesse zu verstehen. Eine Reaktion könnte dann zustande kommen, wenn eines der Elemente im Überschuss vorliegt. Abbildung 10 zeigt eine schematische Darstellung des Trocknungsprozesses. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass Feuer, bzw. Licht, im

Überschuss vorliegt. Die spitzen Feuer-Tetraeder sind in der Lage die viel stumpferen Wasser-Ikosaeder aufzuspalten. Die frei werdenden Dreiecke oder die „Reste“ der Ikosaeder können sich dann zu Luft-Oktaedern neu formieren. Zwar mag uns heute die Vorstellung Feuer bestehe aus Tetraedern fremd vorkommen, doch ist dieses Gedankenmodell durchaus in der Lage auf molekularer Ebene zu erklären, wieso eine Pfütze trocknet, wenn sie der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist.

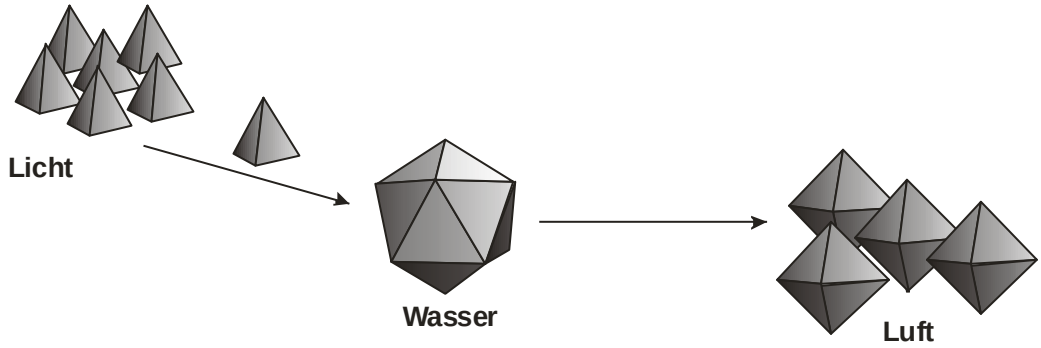


Abb. 10: Schematische Darstellung des Trocknungsprozesses

Um das Wasser in Luft zu spalten bedarf es einer Dynamik, einer Bewegung der Feuer-Tetraeder. Diese Bewegung entsteht laut Platon durch Ungleichartigkeit. Diese These kann man durchaus mit der modernen Theorie der Diffusion unterstützen.

Allerdings gibt es laut Platon nicht nur eine Art der einzelnen Elementarkörper. Die verschiedenen Arten unterscheiden sich durch ihre Größe. Es gibt also beispielsweise verschieden große Tetraeder.[27, 32] Diese Erweiterung der Elemente kann soweit gehen, dass man im chemischen Sinne nach den Isomeren und Symmetrieoperationen der Elementarkörper fragen kann.[35]

Nach den vorrausgehenden Betrachtungen bleibt die Frage offen, was Platon mit seiner Naturphilosophie überhaupt bezwecken wollte. Oder: Was war Naturwissenschaft für Platon? Wie viel Wert Platon der Philosophie beiräumt, wird in Abbildung 11 deutlich.

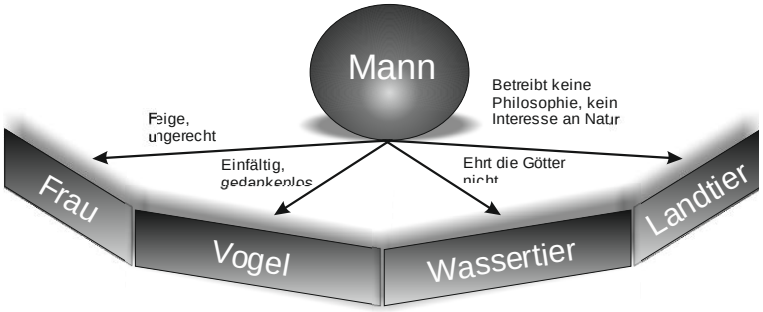


Abb. 11: Platons Entwicklungsgeschichte der Menschen

Nach Platons Lehre aus dem Timaios gab es zunächst nur Männer, die je nach ihren Taten als anderes Geschöpf wiedergeboren wurden. Für Platon ist das Nichtbetreiben von Philosophie und

das Desinteresse an der Natur sozusagen ein schlimmes Vergehen. Wer sich nicht mit Hilfe des Kopfes mit der Philosophie und der Natur beschäftigt, sonder dem „Seelenteil in der Burst als Anführer folgt“, wie Platon sagt, der wird mit dem Oberkörper immer mehr zur Erde hingezogen, wodurch die Mehrfüßler entstanden.[32] Ebenso führt Platon im Phaidon aus, dass die Beschäftigung mit Philosophie und Natur unbedingt notwendig ist um nach dem Tod zur Erkenntnis zu kommen.[26] Genau genommen ist für Platon die Wissenschaft, also die Philosophie und die Beschäftigung mit der Natur, das einzig Wahre. Geistige Beschäftigung steht für ihn weit über der körperlichen Tätigkeit, weil der Körper die Seele vom Erkennen abhält. Grundsätzlich wurde das Handwerk oder Arbeit im Allgemeinen gering geschätzt. Da aber natürlich nicht Alle Zeit hatten, sich in Muße zu üben, rechtfertigte diese Ansicht zugleich auch die Sklaverei. Nur der Freie und Kontemplative hatte Zeit für Philosophie. In konkreten Worten: Für Platon war die Wissenschaft nichts Praktisches. Das unterscheidet sie vom heutigen Begriff der Wissenschaft, in der die Empirie eine entscheidende Rolle spielt. Das heißt, der Praxisbezug der platonischen Lehre fehlt völlig. Aber wie passt das mit Platons Ausführungen über den Staat zusammen? In seinem Werk Nomoi führt Platon die vier Kardinaltugenden aus. Aber schließlich ist es doch die Seele, die über die Tugenden wachen muss und eben nicht der Leib. Laut Platon ist Tugend Wissen und dient nur dem Sieg des Geistes über die Triebe.[36] Der Staat und die Politik hindern laut Platon den Menschen daran, sein wahres Wesen zu entfalten und grenzen ihn von der göttlichen Ordnung ab. Der Mensch könne sich nur einer der zwei Seiten zuwenden: Entweder dem wahrhaft Seienden, was also die Philosophie für sich beansprucht zu sein, oder den Belangen der Menschen. Daher strukturiert Platon den Staat mit analog zu seinem Verständnis der Aufteilung der Seele. Er legt fest, es müsse einen Ehrstand (Philosophen), einen Wehrstand (Soldaten) und einen Nährstand (Bauern) geben. Und analog dazu spricht er von νοῦς, θυμός und ἐπιτιμία.[37]

In Platons Dialogen ist die Erkenntnis immer eng verknüpft mit νοῦς, was auf unterschiedliche Weise verwendet werden kann. Zum einen kann νοῦς zeitlich differenziert werden und dann eine Vorstellung sein, die sich auf die Vergangenheit (Erinnerung), auf die Gegenwart (Einsicht, Aufmerksamkeit) oder auf die Zukunft (Absicht) bezieht. Außerdem kann eine rein theoretisch-wissende Einsicht oder Erinnerung von einer praktisch-planenden Absicht unterschieden werden.[38] Aber wie auch immer man νοῦς versteht, es beinhaltet die Wissenschaft, die Philosophie und das Erkennen. Trotzdem bleibt für Platon die Beschäftigung an sich vordergründig, sich mit der Erkenntnis auseinander zu setzten. Dieser Schritt geht der praktischen Handlung zwar voraus, doch für die platonische Philosophie stellt sich nicht die Frage, was man nun mit der gewonnen Erkenntnis machen soll. Der Akt des Philosophierens ist relevant, der sicherlich nicht in ein normales Leben einzugliedern war, sondern vielmehr denen vorbehalten war, die es sich leisten konnten den Tag damit zu verbringen. Heute würde man vielleicht sagen, philosophieren ist mein Hobby, während ich im wirklichen Leben einer Arbeit mit praktischen Bezug nachgehe, die mir also etwas Praktisches bringt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Platons Naturphilosophie heute ein erstaunliches und einzigartiges Hilfsmittel ist, um naturwissenschaftlichen Fragen zu begegnen auch wenn sich in seiner Naturphilosophie vielen Punkte finden, an denen die moderne Naturwissenschaft anecken kann. Zum Beispiel versteht Platon die Zeit als zyklisch, wohingegen sie heute als linear fortschreitend verstanden wird.[39] Und auch wenn die Vorstellung der Elementarkörper Platons heute vielleicht absurd klingt, so sprechen Chemiker und Physiker im Grunde von nichts anderem indem sie sich Atome als Kugeln vorstellen und den mathematischen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen Räume zuweisen, sie Orbitale nennen und ihnen die Form von Hanteln geben. Bei der Synthese von Gerüsten, die zu den platonischen Körpern zählen, wird Platon immer wieder gedacht.[40] Und die Frage nach dem Wesen der Natur, die Platon stets zu stellen sucht, beschäftigt wohl heute noch genauso die Wissenschaftler wie zu Platons Zeiten. Allerding muss auch eingeräumt werden, dass man in der platonischen Lehre ein besonderes Verhältnis zwischen Wissenschaft und Ethik finden kann. Der Anwendungsbezug, der heute in der Wissenschaft im Vordergrund steht, war für Platon zweitrangig. Platon würde auf die heute häufig gestellte Frage „und wozu das alles?“ sicherlich anders antworten als wir es heute tun. Das kann mit der Sozialstruktur oder auch mit Platons Theologie zusammenhängen. Aber auch wenn Platon für uns keinen Zusammenhang zwischen Wissenschaft und Ethik schuf, so war für ihn Wissen nichts, was unbedingterweise gut war. Das Wissen über eine Sache kann zum Guten und zum Schlechten führen, man könnte sagen, es ist sittlich indifferent.[41] Vielleicht könnte man folgende Aussage wagen: Gesinnung und Willenshaltung können durch „Seelentraining“ geschult werden und durch Aufnahme von Wissen, durch Erkennen und durch Philosophieren zu gutem Handeln verleiten, wobei das eigentliche Ziel ein anderes war.

2.1.3 Die Wissenschaftstheorie des Aristoteles

Obwohl Aristoteles ein Schüler Platons war, sind seine Lehren doch von wesentlichen Differenzen zu seinem Lehrer durchdrungen. Im Gegensatz zu Platon interessierte sich Aristoteles nicht für die übergeordneten Ideen, sondern für die natürlich gegebenen Dinge. Auf den ersten Blick ist es daher plausibel, dass die Naturphilosophie von Aristoteles ein wesentlich höheres Anwendungspotential zu haben scheint, als die Ideenlehre von Platon. Im Raum steht hingegen, inwiefern dieses Anwendungspotential auch ausgeschöpft wurde.[42] Des Weiteren entwickelte Aristoteles eine eigene Kategorisierung der Wissenschaften, was einer konkreten Verhältnisbestimmung zwischen seiner Naturwissenschaft, Geisteswissenschaft und Ethik zuträglich ist. Um diese Disziplinen miteinander zu vergleichen ist es jedoch sinnvoll zuerst einen Blick auf die Naturwissenschaft sowie auf die Ethik des Aristoteles zu werfen.

Zu ihren Lebzeiten hatten Platon und Aristoteles ein eher angespanntes Verhältnis. Aristoteles konnte dem abgehobenen Platon seinen Standpunkt nicht begreiflich machen.[43] Aber trotz allem kann man auch Schnittpunkte ihrer Lehren feststellen. Zum einen hielt Aristoteles an den

Elementen, die letzten Endes auf Empedokles zurückgehen, fest und genauso wie Platon postulierte er, dass sie ineinander über gehen können. Abbildung 12 zeigt den Übergang der Elemente nach Aristoteles. Er geht von den kleinsten symmetrischen Teilchen, wie Platon sie postulierte ab. Seine Erklärung ist außerdem nicht mathematischer Natur, sie ist weniger abstrakt. Aristoteles geht davon aus, dass jedem der vier Elemente jeweils zwei Eigenschaften zugeordnet werden können. Die Eigenschaften ergeben sich aus Kombinationen der Attribute warm und kalt sowie trocken und feucht. Das heißt es handelt sich im direkten Vergleich zu Platon um eine qualitative Bestimmung der Elemente. Auch weicht Aristoteles von Demokrit ab, denn die Qualitäten sind natürlich nicht messbar und werden von ihm auch durch keine anderen Größen beschrieben. Demokrit verwendet Gestalt, Anordnung und Lage, die heutige Naturwissenschaft verwendet zum Beispiel die Temperatur in °C.

Das Wasser beispielsweise ist also kalt und feucht. Durch die Variation einer dieser Eigenschaften in sein Gegenteil, bei gleichbleiben der jeweils zwei übrigen Attribute, kann sich Wasser entweder in Erde oder in Luft umwandeln. Es resultiert ein Kreisprozess. Des Weiteren ist es möglich, dass die jeweils gegenüberstehenden Elemente miteinander reagieren und sich so die beiden übrigen bilden. Wasser (kalt und feucht) reagiert so mit Feuer (warm und trocken). Durch Neukombination der Attribute entsteht so Erde (kalt und trocken) sowie Luft (warm und feucht).[20, 44]

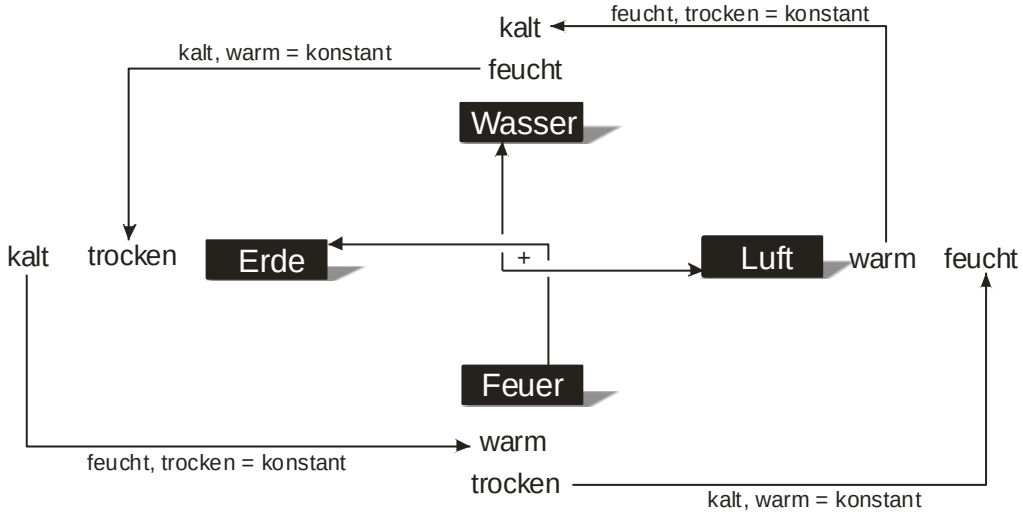


Abb. 12: Der Übergang der Elemente nach Aristoteles

Die Veränderung der Elemente trennt Aristoteles jedoch strikt von ihrer Entstehung. Abbildung 13 verdeutlicht worin der Unterschied zwischen Veränderung, sowie dem Entstehen und Vergehen besteht. Links ist die Veränderung an einem Beispiel illustriert. Die Eigenschaft warm verändert sich in die Eigenschaft kalt. Zugrunde liegt eine Materie, deren Eigenschaft sich verändert, die aber selbst erhalten bleibt.

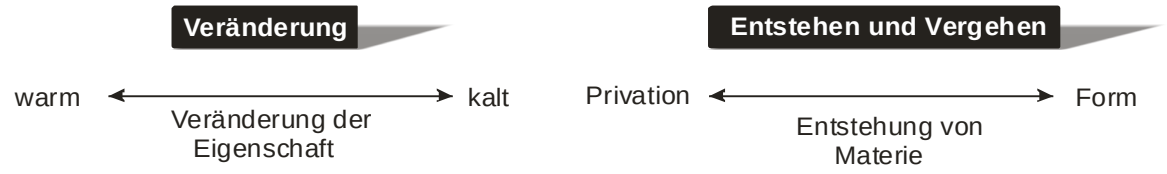


Abb. 13: Der Unterschied zwischen Veränderung und Entstehen oder Vergehen

Im Gegensatz dazu zeigt die rechte Grafik, dass im Laufe des Entstehungsprozesses noch keine Materie vorausgesetzt ist. Die Privation liegt dem Prozess zugrunde. Durch die Entstehung der Materie bildet sich auch eine neue Form. Der Veränderung hingegen liegt schon eine Form zugrunde. Das heißt konkret: Aristoteles unterscheidet zwischen eidos (Form) und hylê (Materie). Dabei ist die Materie das, was schon vor der Entstehung da war und die Form hingegen das, was die Materie zu einem bestimmten Ding macht. Dabei ist zu bedenken, dass Platon den Begriff eidos auch für seine Ideen verwendet. Der Unterschied ist jedoch ganz klar. Bei Aristoteles gehört die Form zu dem Gegenstand selbst. Platons Ideen haben jedoch nur entfern Anteil an dem Ding als solches.[45] Das Reden über Materie und über Elemente wirft die Frage auf, ob Aristoteles etwas entwickelt hat, dass man als frühe theoretische Chemie bezeichnen könnte. Wie in Abschnitt 2.1.1 gezeigt scheint der Atomismus von Demokrit den heutigen Vorstellungen von Materie schon recht nahe zu kommen. Aristoteles seinerseits kritisiert den Atomismus jedoch scharf.[20] Durch seine Kritik an Demokrit fand die Lehre vom Atom als kleinste unteilbare Einheit ein jähes Ende.[14] Die Ablehnung des Atomismus zusammen mit der Tatsache, das Aristoteles selbst fast nichts über die Chemie sagte, hatten zur Folge, dass Demokrits Lehre fast 2000 Jahre lang unbemerkt blieb. Die Chemie entwickelte sich daher viel später als anerkannte Wissenschaft, wie zum Beispiel die Physik oder die Mathematik.[42] Die Lehre Demokrits hätte ein Grundstein für die Chemie sein können, aber Aristoteles‘ Ansichten wichen zu weit von Demokrits ab. Genauso wie Platon lehnt Aristoteles, durch Logik begründet, auch das Vakuum ab. Dafür liefert er folgenden Denkansatz: Wenn ein Körper über eine Strecke bewegt wird, dann wird er bei gleicher Kraft immer die gleiche Strecke zurücklegen. Verändert man jetzt die Dichte des Mediums, so wird der Körper bei geringerer Dichte weniger Zeit für die gleiche Strecke brauchen. In einem vollkommen leeren Raum, also bei einer Dichte von Null, müsse somit die Zeit auch null sein und das wäre logisch unsinnig.[17] Vom heutigen wissenschaftlichen Standpunkt aus, wäre eine solche Begründung wohl nicht haltbar, wenngleich man zugeben muss, dass keine der Prämissen falsch ist. Nur der Schluss, der daraus gezogen wurde lässt sich experimentell natürlich nicht halten. In diesem Punkt sind sich Aristoteles und Platon entgegen Demokrit einig.

Doch nicht nur diese Differenz sorgte dafür, dass die Chemie zuerst ihre Pseudowissenschaft, die Allchemie, durchlaufen musste. Es ist doch erstaunlich, dass Aristoteles ein Vorreiter im Gebiet der Biologie und der Medizin zu sein scheint, aber nur wenige Worte über die Chemie verlor.[46] Aber genauso wie Platon hatte Aristoteles einen Drang zur Abstraktion. Man könnte meinen, dass die Fähigkeit zur Abstraktion eine Grundvoraussetzung sei um Chemie zu betreiben, aber tatsächlich verlor sich Aristoteles in zu abstrakten Ansätzen, statt an einem gewissen Punkt wieder

bodenständig zu denken. Zum Beispiel diskutierte er die Frage, wie aus Nahrung Nicht-Nahrung wird, statt das Augenmerk darauf zu richten, wie Nahrung in Fleisch und Knochen umgesetzt werden kann.[47] Nichts desto trotz erwähnt Aristoteles im 9. Buch von de generatione et corruptione die Verbindungen.[48, 49] Er kommt zu der Erkenntnis, dass eine Verbindung andere Eigenschaften haben kann als ihre Bestandteile, eine Bedingung, die beispielsweise auch bei der Komplexierung von Metallionen gilt. Des Weiteren unterscheidet er präzise zwischen Mischung und Verbindung und er führt den Begriff der Wechselseitigkeit ein, den man vielleicht als Wechselwirkung verstehen könnte.[50] Allerdings kann man auch hier feststellen, dass Aristoteles von scharfen chemischen Erkenntnissen immer wieder in die Metaphysik abgleitet. Hier unterscheidet sich Aristoteles also sowohl von Demokrit als auch von Platon, denn obwohl Platon mit seiner Ideenlehre ein überaus abstraktes Konstrukt entwickelte, kann man doch bei ihm auch erste Ansätze der Chemie, zum Beispiel der Chemie der Aggregatzustände festestellen.[51] Allerdings kann man bei Aristoteles trotzdem drei verschiedene Definitionen von Materie finden, die jedoch vom chemischen Gesichtspunkt kein besonders großes Gewicht zu haben scheinen. Erstens beschriebt er Materie im 1. Buch der Physik als erstes Subsrat.[52] Zugrunde liegt, wie in Abbildung 13 gezeigt, die Privation, die Materie und die Form. Die Materie gibt dabei die Potenz wieder, sie gibt der Form die Möglichkeit zu Entstehen. Die Form selbst beschreibt dabei den Akt. Hierbei ist die Materie selbst unentstanden und unvergänglich. Nur die Privation vergeht und entsteht. Man könnte sagen, die Materie sei mit Molekülen zu vergleichen, deren Form man durch neue Kombinationen verändern kann. Eine zweite Definition findet man im 7. Buch der Metaphysik.[53] Aristoteles beschreibt die Materie hier als formloses, unbestimmtes Prinzip. Drittens definiert Aristoteles die Materie erneut im 8. Buch der Metaphysik.[54] Hier findet sich der Gedanke von Materie als Potenz sowie von Form als Akt wieder.[44]

Abgesehen von Platons und Aristoteles` Übereinstimmungen bezüglich der Elemente und dem Vakuum, stellen sie sich vor allem auch die gleiche grundsätzliche Frage: Woher kommen die Dinge? Oder: Wie ist alles geworden.

Schon in Aristoteles` Begründung über das Vakuum kann man sehen, dass er anscheinend einen großen Wert auf die Bewegung an sich legt. Für Aristoteles ist die Bewegung ein unbedingtes muss und quasi die Voraussetzung für Materie. Bei Demokrit hingegen ist die Bewegung zwar notwendig, aber sie ist nicht derart essentiell wie bei Aristoteles. Der Bewegung liegen drei verschiedene Voraussetzungen zugrunde. Zum einen muss die Materie bei der Veränderung erhalten bleiben. Der Grund für den Anfang einer Bewegung ist laut Aristoteles der Verlust ihrer Ausgangsform. Drittens ist die Form die wirkliche Ursache der Bewegung.[17] Daher unterscheidet Aristoteles die natürlichen von den unnatürlichen Dingen.[45, 55] Dem entsprechend wohnt dem Natürlichen ein Antrieb zur Veränderung inne, wohingegen sich das Unnatürliche ohne äußeren Antrieb nicht verändert. Man könnte sagen, das Natürliche, ein Samen etwa, „weiß“ was aus ihm werden soll. Er beinhaltet seinen eigenen Bauplan, die DNA, nach dem entsprechend er sich „bewegen“ kann. Ein Tisch hingegen wird nicht auf die Idee kommen, sich von sich aus zu verändern. Er hat keinen integrierten Bauplan. Veränderung kann demnach nur durch Bewegung erfolgen, durch *kinêsis*. Laut Aristoteles

gibt es vier verschiedene Arten von Veränderungen, die in Abbildung 14 dargestellt sind. Ein modernes Beispiel soll das Gemeinte verdeutlichen.

Abb. 14: Die vier verschiedenen Veränderungen nach Aristoteles

Zunächst kann sich die Qualität verändern. Ist zum Beispiel das Leitungswaser sehr kalkreich, dann kann man die Wasserqualität erhöhen indem man die Calciumionen zum beispielsweise mit EDTA oder auch mit Zitronensäure komplexiert. Außerdem kann sich die Quantität verändern. Gefriert man Wasser, erhält man ein größeres Volumen, was man als Anomalie des Wassers bezeichnet. Molekular mag dieser Vergleich etwas hinken, da sich die Stoffmenge während der Gefrierung freilich nicht verändert. Entstehen und Vergehen können auch eine Art Veränderung darstellen. Die Kondensation von Wasser in einer Wolke wäre ein anschauliches Beispiel. Fällt das Wasser dann hinab, spricht man von Regen. Es findet eine Veränderung aufgrund von Bewegung im herkömmlichen Sinne satt.[17, 45]

Abgesehen von der Bewegung (Geschwindigkeit) thematisiert Aristoteles zudem die Zeit. Heute wird die Bewegung durch die Zeit definiert, nämlich als Strecke die pro Zeit zurückgelegt wird. Für Aristoteles ist die Zeit aus Teilen aufgebaut. Ihre genaue Bestimmung gestaltet sich jedoch schwierig, da ein Teil von ihr bereits gewesen ist und ein anderer Teil von ihr erst noch sein wird. Das „Jetzt“ hingegen beschreibt keinen Teil der Zeit, es hat sozusagen keine eigene Ausdehnung und ist mehr als Grenze zu verstehen. Die Zeit ist also eine gezählte Bewegung, so wie es die moderne Definition von Geschwindigkeit auch sagt. Zeit und Bewegung sind nicht ohne einander zu denken. Zeit wird in Bewegung gemessen und Bewegung in Zeit.[55, 56] Der Zeitbegriff des Aristoteles wird im Laufe der Geschichte noch eine bedeutende Rolle spielen und ist vergleichbar mit dem modernen Verständnis von Zeit.[57]

Doch die Veränderung aufgrund von Bewegung, die in Abhängigkeit zur Zeit steht, reicht noch nicht aus, um das Entstehen und Vergehen von Dingen zu beschreiben. Aristoteles unterscheidet allgemein vier Gründe (Ursachen, *causae*) für alles.

Abbildung 15 veranschaulicht welche vier Ursachen laut Aristoteles notwendig sind. Zum einen ist die materielle Grundlage voraus zu setzten, also der Stoff, aus dem das Ding gemacht ist (*causa* materialis). Mithilfe der formalen Ursache lässt sich das Ding weiter charakterisieren (*causa* formalis). Die Bewegung fungiert hier als eigene Ursache (*causa* movens). Sie veranschaulicht den Antrieb, mit dem ein Ding entsteht. Zuletzt hat jede Sache einen Sinn und Zweck (*causa* finalis). [42, 45, 58] Gerade bei den *causae* ist es wichtig, die natürlichen von den unnatürlichen Dingen zu unterscheiden. Aristoteles bezieht sie nur auf natürliche Dinge. Es geht um Bewegung, die im Ding

selbst angelegt ist. Der finale Zweck ist also nicht unnatürlich erdacht, er ist nicht von einem Wissenschaftler gestellt worden. Ziel darf hier nicht in dem Sinne gebraucht werden, dass es, durch Anstrengung etwa, erreicht werden kann, so wie man sich momentan daran versucht die zehnfache Schallgeschwindigkeit zu erreichen. Es ist das, was einem Gegenstand innewohnt, was schon natürlich gegeben und nicht von Menschen erdacht ist.

Abb. 15: Die vier Ursachen

In der heutigen Naturwissenschaft herrscht eine Verarmung der Ursachen. Während die Effizienz in den Vordergrund rückt, gerät die finale Ursache, so wie sie Aristoteles dachte vollkommen in den Hintergrund. Ziele werde künstlich gesteckt und man muss sich schon fragen, ob diese mit den natürlichen Zielen vereinbar sind. Der Bewegungsbegriff von Aristoteles ist natürlich, es handelt sich um Bewegungen, die von sich aus geschehen. Der heutige Bewegungsbegriff ist ein ganz anderer. Ein physikalischer Körper muss erst einmal in Bewegung gesetzt werden, sein Gleichgewicht muss gestört werden. Nur so ist auch der Trägheitsbegriff zu verstehen. Ein Körper ist von sich aus träge und es bedarf einer Energiezufuhr von außen, um ihn in Bewegung zu setzen. Hier steht der Bewegungsbegriff von Aristoteles in starker Opposition zu dem der modernen Naturwissenschaft.
Allerdings wird die Wichtigkeit der *causa* formalis immer wieder neu entdeckt. Gerade in der Chemie weiß man, wie wichtig Isomerie ist. Auch in der Biochemie haben räumliche Anordnungen eine große Bedeutung. Abbildung 16 zeigt das Protein Hämocyanin. Es ist für den Sauerstofftransport im Blut verschiedener Weichtiere verantwortlich.[59]
Nur durch die besondere räumliche Faltung des Proteins befinden sich die beiden Kupferionen im richtigen Abstand zueinander und erlauben so die reversible Bindung von Sauerstoff. Die räumliche Gestalt sorgt also dafür, dass das Zentrum überhaupt Sauerstoff aufnehmen kann. Wie schon im Abschnitt 2.1.1 erwähnt gehört die Form also zur Wirkungsweise dazu.
Aristoteles machte sich jedoch über seine naturphilosophischen Inhalte hinaus auch Gedanken darüber, wann Wissen überhaupt als Wissenschaft bezeichnet werden kann und entfaltet in diesem Zuge eine Wissenschaftstheorie. Laut seiner Metaphysik streben alle Menschen von Natur aus nach Wissen.[60] Aber in welcher Form kommt man eigentlich zu Wissen? Wie ist der Erkenntnisprozess?

Abb. 16: Hämocyanin mit seinem katalytischen Kupferzentrum[59]

Zum einen erläutert Aristoteles, dass ein Gegenstand dann als erkannt gilt, wenn seine Attribute feststehen. Zeigt man einem Linguisten die Strukturformel von Koffein, dann wird er in der Regel nichts damit anfangen können. Ein Chemiker hingegen weiß, was die einzelnen funktionellen Gruppen in ihrer Kombination bedeuten und er weiß in aller Regel auch, wie sie reagieren können. Der Chemiker kennt die Attribute des Dings und erkennt es selbst. Andererseits würde ein Chemiker in der Regel keine ägyptischen Schriftzeichen entziffern können. Er kennt ihrer Attribute nicht.[17] Laut Aristoteles bezieht sich die Wissenschaft aber auf Verallgemeinerungen und die werden aufgrund von Vergleichen getroffen. Man stellt also Ähnlichkeiten und Unterschiede fest. Die allererste Wahrnehmung bezieht sich jedoch immer zuerst auf ein Einzelnes.[60] Hier begegnet man wieder Nous, welches schon Platon verwendete, als das Wahrnehmungsorgan des Wissens.[61]
Der Weg vom Erkennen zur Wissenschaft wird mit der epistemischen Stufenleiter verdeutlicht, die in Abbildung 17 gezeigt ist. Die unterste Stufe der Leiter ist Wahrnehmung ohne Erinnerungsvermögen, wie zum Beispiel bei niederen Tieren und Würmern, während auf der zweiten Stufe bereits ein Erinnerungsvermögen vorhanden ist, wodurch das Lernen möglich wird. Die dritte Stufe bündelt Erinnerungen zu Erfahrungen. Erst auf der vierten Stufe ist Wissenschaft und Kunst möglich. Von dieser Stufe sind Tiere ausgeschlossen.[45] Wie man sieht, unterscheidet Aristoteles die Wissenschaft (epistêmê) und die Kunst (technê). Die Wissenschaft beschreibe die Dinge, die Wahrheiten, die eben so sind, wohingegen die Kunst eine Veränderung vornehmen will. Der natürliche Drang des Menschen nach Wissen zu streben wird durch die epistemische Stufenleiter beschrieben. Die Wissenschaft an sich resultiert also aus diesem natürlichen Drang, sie resultiert aus der Wahrnehmung selbst.

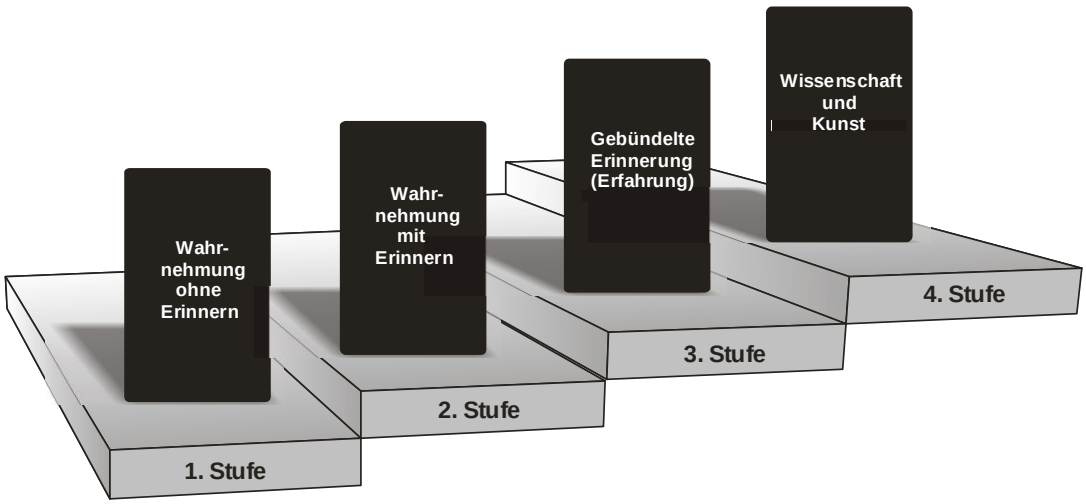


Abb. 17: Die epistemische Stufenleiter

Allerdings bedarf die Wissenschaft auch wissenschaftliche Begriffe. In der Lehre von Aristoteles sind hier drei Begrifflichkeiten von Belang: Demonstration, Prinzip und Axiom. Die Demonstration ist eine andere Möglichkeit eine Konklusion auszudrücken. Allerdings ist eine Konklusion erst dann eine Demonstration, wenn ihre Prämissen aus wissenschaftlichen Sachverhalten bestehen, die wahr, ursprünglich, bekannter als die Konklusion, ursächlich und vorrangig sein müssen. Die Prinzipien beschreiben die Definitionen, Hypothesen und Postulate an sich. Laut Aristoteles gibt es zwei verschiedene Arten von Definitionen, die Gattungs-Differenz-Definition sowie die Form-in-Materie-Definition. Jede Wissenschaft habe ihre eigenen Prinzipien. Als letztes beschreiben die Axiome allgemeine die über den Fachwissenschaften stehende Grundsätze, die man in Anspruch nehmen muss, um zu lernen.[45, 61]

Aus all diesen Betrachtungen folgt schließlich, dass Aristoteles als erster Wissenschaftler eine Klassifizierung der Wissenschaften vornahm, welchen in Abbildung 18 dargestellt ist.[55, 61]

Abb. 18: Klassifizierung der Wissenschaften nach Aristoteles

Demnach gibt es drei verschiedene Arten von Wissenschaft, die theoretische, die praktische und die poietische. Zu ihnen gehören jeweils Anwendungsbereiche. Schließlich gibt es verschiedene Kriterien für die Wissenschaftlichkeit. Dazu gehört die Notwendigkeit und die Allgemeinheit. Wenn für ein Problem keine andere Lösung denkbar ist, dann ist die Lösung (und das Wissen um die Lösung) unbedingt notwendig. Die Allgemeinheit ist jedoch nicht erfassbar. Erkennen kann immer zuerst an einem Einzelnen stattfinden. Daher müssen verschiedene Stufen durchlaufen werden, um

eine Abstraktion zu erreichen. Dazu gehört die Sinnlichkeit, das Vergleichen und der tätige Verstand, der die Sinnlichkeit schließlich ablöst.[61]

Die Dreiteilung des aristotelischen Wissenschaftssystems scheint auf den ersten Blick besonders anwendungsfreundlich zu sein. Zwar zählt die Physik zu den theoretischen Wissenschaften, aber die Ethik nimmt einen eigenen Platz innerhalb der praktischen Wissenschaften ein. Es stellt sich also als nächstes die Frage, wie anwendungsbezogen die Wissenschaftstheorie von Aristoteles wirklich war und welcher Zusammenhang zwischen der Ethik und der Physik zu finden ist. Doch bevor diese Frage geklärt werden kann, bietet es sich an einen Blick auf die aristotelische Ethik zu werfen.

Schon bei der Betrachtung naturwissenschaftlicher Fragestellungen bei Aristoteles taucht die Ethik auf. Sie steckt in der finalen Ursache, in dem wozu. Es scheint also eine Zielausrichtung des Handelns zu geben. Das Ergebnis einer Handlung soll vom Menschen als „gut“ bewertet werden, die Handlung soll positive Auswirkungen haben. Als gut werden natürlich unterschiedliche Dinge bezeichnet, es gibt also eine Vielzahl an Gutem. Laut Aristoteles steht aber über allem das Gute schlechthin, das sogenannte summum bonum.[62, 63] Das summum bonum beschreibt er als das Glück. Darunter ist allerding nicht das Glück zu verstehen, dass man zum Beispiel im Spiel herausfordern kann, sondern es ist ein geglücktes Leben gemeint. Die Ethik des Aristoteles ist in diesem Sinne sowohl teleologisch als auch eudämonistisch, sie ist ziel- und glücksorientiert. Allerdings bleibt es doch schwer zu definieren was unter Glück zu verstehen sein soll. Was bedeutet das, wenn ein Leben gelungen ist? Für Aristoteles gibt es vier Merkmale, die Glück definieren. Zum einen sei Glück entlang der Lebensformen zu diskutieren. Zweitens grenzt sich Aristoteles von seinem Lehrmeister ab und erklärt, Glück sei keine Idee, dafür aber das formal höchste Ziel. Viertens ist Glück für ihn von der individuellen Leistung des Menschen her zu bestimmen.[63] Er nennt seine Ethik auch Philosophie der menschlichen Angelegenheiten. Das Handeln des Menschen steht im Vordergrund und was Menschen unter gutem Handeln verstehen, spiegelt sich in der Tugend wieder. Für Aristoteles hängt die Tugend aber auch von der Vernunft ab. In der nikomachischen Ethik beschreibt er die Tugend als „Jene Haltung in unserem Wollen, welche die rechte Mitte einschlägt und diese Mitte durch die Vernunft bestimmt, so wie sie der Einsichtige zu bestimmen pflegt“.[62] Allerdings zerfalle die Vernunft in Denken und Wollen und daher gebe es auch zwei verschiedene Arten von Tugenden. Die in Abbildung 19 gezeigte Graphik veranschaulicht in welcher Weise die Tugend aufgeteilt ist.[41]

Die ethische Tugend auf der einen Seite beschreibt eine vom Wissen zu unterscheidende geistige Macht. In gewisser Weise soll die Herrschaft der Seele über den Leib geschult werden. Die ethische Tugend ist also aus einer Auflistung von Charaktereigenschaften aufgebaut. Auf der anderen Seite zielt die dianoethische Tugend auf die Vollkommenheit des reinen Intellekts. Man kann sie in die theoretische und praktische Vernunft aufteilen. Die theoretische Vernunft mit ihren Bestandteilen Vernunft (νοῦς), Weisheit (σοφία) und Wissen (ἐπιστήμη) war schon Platon geläufig. Er gliederte die Wissenschaft in die νοῦς ein (vgl. Abschnitt 2.1.2).

Abb. 19: Aufteilung der Tugenden

Allerdings steht die Ethik als praktische Disziplin auch einigen Problemen gegenüber. Vor allem in der Praxis wird klar, dass das Gute umstritten ist. Aristoteles gab an dieser Stelle dem Menschen eine gewisse Handlungsfreiheit, indem er sagte, dass man von der Ethik nicht erwarten dürfte, dass sie mit der gleichen Exaktheit arbeite, wie es zum Beispiel die Mathematik tut. Das heißt, es gibt in der Ethik keine exakten Wahrheiten, die keine Ausnahmen mehr zulassen. Die Ethik im Allgemeinen könne nicht bestimmen, wie sich ein Mensch in einer konkreten Situation verhalten soll. Die praktische Tugend bietet hier nur eine Hilfestellung. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Ethik nicht wie eine exakte Naturwissenschaft gelehrt werden kann. Das Erlernen der praktischen Tugend setzt Erfahrung voraus, die Handlungen bedarf und die nicht theoretisch erlernt werden kann.[45]

Trotzdem soll man an den Handlungen des Menschen erkennen könne, ob er einen guten oder schlechten Charakter hat. In den Zwiespalt kommt man nur dann, wenn der Akteur unfreiwillig handelt. Sofort drängt sich die Frage auf: Wann kann ein Mensch für sein Handeln verantwortlich gemacht werden? Aristoteles beantwortet diese Frage in der nikomachischen Ethik. Danach gibt es drei verschiedene Arten des Strebens: Das vernünftige Streben, auch das Wollen genannt. Das unvernünftige Streben, zum Beispiel körperliche Begierde. Und drittens das emotionale Streben, dass durch Gefühle wie Wut oder Liebe hervorgerufen wird. Laut Aristoteles muss man sich für vernünftiges Handeln entscheiden. Und jede Handlung, die durch eigenes Streben, welcher Art auch immer, verursacht ist, muss von dem Menschen verantwortet werden.[45, 62]

Aristoteles` Ethik ist also auch anthropologisch, alles dreht sich um den Menschen und um seine Handlungen. In diesem Rahmen kann man fragen: Was ist es jetzt, was für den Menschen spezifisch als Mensch gut ist? Schon Aristoteles erkannte: Der Mensch ist ein gesellschaftliches Lebewesen und in Gesellschaften herrschen Gesetze. Was ist also für eine Gesellschaft recht oder unrecht? In der nikomachischen Ethik stellt Aristoteles die Stellung des Menschen unter den Lebewesen noch genauer heraus. Der Mensch ist nämlich bekannter Weise nicht das einzige Lebewesen, das in gesellschaftlichen Verbänden lebt. Was ist also der Unterschied zwischen Menschen und Bienen? Die Differenz liegt darin, dass der Platz des Individuums in den (meisten) menschlichen Gesellschaften nicht exakt vorherbestimmt ist. Eine Biene wird Drohne, Königin oder Arbeiterin. Ein

Mensch hingegen hat eine Wahl. Aristoteles geht davon aus, dass es für die Gesellschaft am besten sei, wenn jeder Mensch das täte, was er am besten können, was seinen Begabungen entspräche. Dadurch entwickelt sich die freie Wahl des Menschen seine Funktion im Staat betreffend zum Problem. Denn es ergeben sich zwei natürliche Schlussfolgerungen: Entweder dem Menschen muss alle Freiheit eingeräumt werden, damit er seinen Begabungen nachgehen kann, oder der Staat muss dafür sorgen, dass der Mensch seinen Begabungen nachgeht, denn er könnte sich ja auch anders entscheiden. Was es bedeutet, wenn nicht jeder danach strebt seinen Begabungen nachzugehen, wird heute in eindrucksvoller Weise sichtbar. Das Ziel hat sich im Laufe der Zeit immer mehr verschoben. Lehren die Philosophen der Antike noch, das geglückte Leben sei das Ziel, so streben die Menschen heute nach anderen Dingen. Geld und Macht stehen auf den Programm und dieses kann man auch erlangen, ohne seine Begabungen zu verwirklichen und ohne an dem Guten interessiert zu sein.[64]

Bis hier her hören sich die aristotelischen Wissenschaften, seien es die Physik oder die Ethik, mehr oder weniger praxisbezogen an. Der Zweck, das finale Ziel, scheint immer einen großen Stellenwert einzunehmen. Aber wie viel Praxisbezug hatte die Wissenschaft wirklich? Man kann sagen, dass das Wissenschaftssystem von Aristoteles durchaus das Potential hatte, sich der konkreten Welt zuzuwenden. Aber am Beispiel der Chemie wird deutlich sichtbar, dass das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Welt nicht zustande kam. Aristoteles dachte zu abstrakt um einen konkreten Anwendungsbezug zu schaffen. Zwar möchte man auf den ersten Blick meinen, dass Aristoteles im Gegensatz zu Platon bodenständige Philosophie betrieb, aber es konnte bereits gezeigt werden, dass er sich immer wieder in der Metaphysik verlor. Naturwissenschaftliche Größen, wie Bewegung und Zeit, werden von ihm nicht von der Philosophie gelöst und so niemals in einen wirklich kausalen Zusammenhang gestellt.[43, 61] Die Ethik, die Aristoteles stark auf das Handeln bezieht, bleibt aber bei genauere Betrachtung ebenfalls theoretisch. Man nennt sie zielorientierte Ethik, wobei man aber nicht vergessen darf um welches Ziel es Aristoteles eigentlich ging. Es geht um ein formales Ziel, um das Glück und um das gute Leben. Aber formal heißt zugleich auch, dass es nicht praktisch sein kann.[63]

Zuletzt bleibt das Verhältnis zwischen Naturwissenschaft, Ethik und Geisteswissenschaft zu bestimmen. Das Wissenschaftssystem von Aristoteles ist insofern revolutionär, als dass er als Erster, zumindest formal, die Naturwissenschaft (Physik) von der Ethik trennt. Trotzdem kann man wohl nicht von einer konkreten Trennung zwischen Natur- und Geisteswissenschaft sprechen, wie man sie heute kennt. Aristoteles‘ Verständnis von Physik war wohl ein anderes als in der Neuzeit. Für ihn war die Physik untrennbar mit der Metaphysik verbunden, sie war eine philosophische Disziplin und der Anwendungsbezug war wohl gering. Auf der anderen Seite kann man auch bei Aristoteles erste Züge einer Trennung feststellen. Er stellt die Ethik immer wieder in den Kontrast zur Geometrie. Die Geometrie sei genau, immer anwendbar und beinhalte Wahrheiten. Der Ethik hingegen gesteht er zu, dass man mit ihr keine universellen Gesetze aufstellen könne. Im Nachhinein sieht man den Vergleich zwischen Geisteswissenschaft und Naturwissenschaft. Denn man würde heute wohl

zustimmen, dass sich sogenannte Wahrheiten, wie der Satz von Pythagoras, den man eben an jedem Dreieck anwenden kann, in der Ethik oder in der Theologie nicht finden lassen. Dabei liegt die größte Differenz in der Beweisführung. Die experimentelle Nachweisbarkeit spielt in der Naturwissenschaft eine wichtige Rolle, aber Tugend lässt sich nicht eins zu eins übertragen und man stellt immer wieder fest, dass Menschen in gleichen Situationen entgegengesetzte Entscheidungen treffen. Die Rahmenbedingungen für menschliches Handeln beinhaltet nicht automatisch eine Prognostizierbarkeit ihrer Taten, wohingegen ein Apfel immer Richtung Erde vom Baum fällt und sich nicht spontan entscheidet eine andere Richtung zu wählen. Aber es gibt trotzdem eine Gemeinsamkeit zwischen Ethik und Naturwissenschaft: Die Bewegung. Es gibt eine natürliche Bewegung also sind physis und ethos vor der Handlung miteinander verbunden. Die natürliche Bewegung hat eine bestimmte Richtung, sie läuft auf ein Ziel zu. Das ist nicht nur in Aristoteles` Physik so, sondern auch in seiner Ethik und das ist es auch, was seine Lehre von der modernen Wissenschaft unterscheidet, denn heute findet eine Entfinalisierung des Naturbegriffes statt.
Insgesamt jedoch lassen sich bei Aristoteles, natürlich erst im Nachhinein, erste Anzeichen einer Trennung der Disziplinen erahnen. Aber doch bleiben alle Teilbereiche philosophisch durchzogen und führen trotz ihrer Potenz nicht zu einer Lehre, in der Wissenschaft und Welt wirklich praktisch miteinander verknüpft sind.

2.1.4 Die stoische Physik

Wenn man heute einen Menschen als „stoisch“ bezeichnet, dann kann man damit sowohl meinen, er sei unerschütterlich und gelassen, aber man kann der Ausdrucksweise auch eine negative Note abgewinnen und in Wirklichkeit meinen, der besagte Mensch sei gleichgültig. Einen stoischen Patienten kennzeichnet, dass er durchhält und in gewisser Weise unerschütterlich ist.[65, 66] Aber in welcher Weise man den Begriff „stoisch“ auch heute gebrauchen mag, man muss sich die Frage stellen, was den antiken Stoiker in Wirklichkeit ausgezeichnet hat. Womit beschäftigte sich also die Stoa?
Grundsätzlich unterscheidet man eine ältere, mittlere und jüngere Stoa. Zenon wird als derjenige angesehen, der die philosophische Schule 300 v. Chr. gründete. In der mittleren Stoa (1. und 2. Jhd. v. Chr.) folgen Philosophen wie Panaitios oder Poseidonios und in der jüngeren Stoa (nach Christus) zählt Seneca zu den bekannten Vertretern.[41]
Bereits in Abschnitt 2.1.3 wurde die Kategorisierung der Wissenschaften nach Aristoteles besprochen. Die Stoa teilt ihre Hauptdisziplinen ebenfalls inhaltlich voneinander. Abbildung 20 zeigt die Einteilung der Philosophie in der Stoa. Demnach befassten sich die Stoiker vordergründig mit Logik, Physik und Ethik.

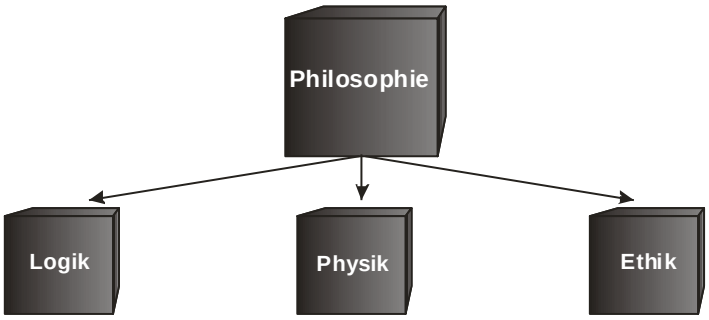


Abb. 20: Einteilung der Philosophie in der Stoa

Diese Kategorisierung verleitet dazu, nach dem Verhältnis der Wissenschaften untereinander zu fragen, vor allem nach dem Verhältnis von Physik und Ethik, im übertragenen Sinne also von Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft.[41] Für die Stoiker ist Philosophie Wissenschaft von den göttlichen und menschlichen Dingen. Allerdings fällt bei der Betrachtung auf, dass es immer wieder um den Menschen selbst geht, was zu der Frage führt, ob die Stoiker mehr Wert auf eine anwendbare Ethik legten, wie Demokrit, Platon und Aristoteles es taten.[67] Schon allein die Zielsetzung der stoischen Physik lässt erahnen, dass man unter Physik doch etwas anderes verstand, wie man es heute tut. Die Stoiker betrieben Physik einzig und allein deswegen, weil die Vorgänge der Natur und die Gesetze des Kosmos von Bedeutung für das menschliche Leben waren. Bis dahin könnte man meinen, dass die heutige Naturwissenschaft auch keinen anderen Grund vorzuweisen habe, aber den Stoikern ging es im Vergleich zu den modernen Naturwissenschaftler darum, mit Hilfe der Kenntnisse dieser Gesetze weise und somit glücklich zu werden.[67] Ob das wirklich so theoretisch ist, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag, wird sich noch im Laufe der Betrachtung zeigen.

Die stoische Physik ist in erster Linie zwei Idealen verschrieben: Sie ist materialistisch und pantheistisch.[41] Die Stoiker waren der Ansicht, dass alles Seiende zum Einen aus einer Ausdehnung und zum Anderen aus einer Kraft, die auch als Atem, Wärme oder Spannung bezeichnet wird, besteht. Unter Ausdehnung versteht man dabei das, was dem Wesen zugrunde liegt, die Hyle. Was aus der Hyle wird, hängt von der Kraft ab, die sie durchdringt, hängt also von dem Pneuma ab. Aristoteles verfolgte den Pneumabegriff ebenfalls und man kann erhebliche Übereinstimmungen mit ihm feststellen, doch haben die Stoiker den Begriff vom Pneuma anderes verwendet, als Aristoteles es tat.

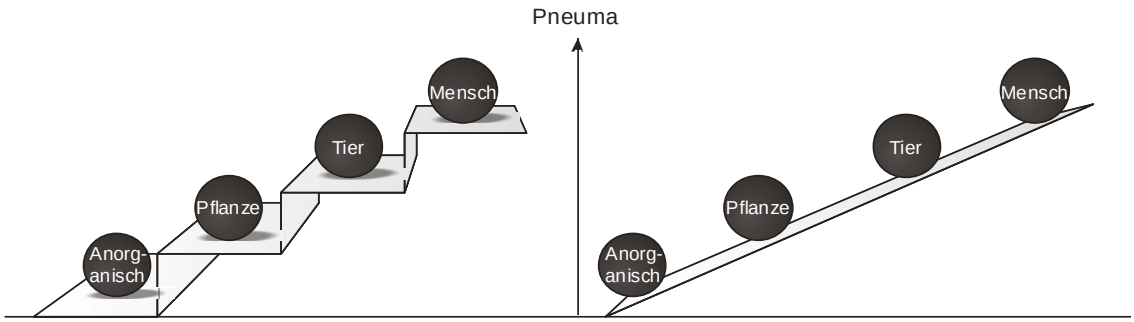


Abb. 21: Seinsbereiche bei Aristoteles (links) und in der Stoa (rechts)

Abbildung 21 veranschaulicht die unterschiedliche Auffassung der Seinsbereiche bei Aristoteles und in der Stoa. Für Aristoteles sind die Seinsbereiche in sich abgeschlossen und man kann nur schwer (oder gar nicht) von einem in den anderen Bereich übergehen. In der Stoa hingegen gibt es keine Schichten des Seins, die unüberwindbar übereinander liegen. Es ist ein kontinuierlicher Übergang, denn die Kraft, das Pneuma, steigt ebenfalls kontinuierlich an. Von ihr ist es abhängig, was aus der Ausdehnung, aus der Hyle, wird aber die Seinsbereiche unterscheiden sich nur graduell (vgl. Abbildung 21).[41]

Aber wie entsteht nun die Materie konkret? Es gibt ein totes Substrat und ein belebendes, ein pneumatisches Substrat. Beide Substrate durchdringen sich, was zu einer Spannung führt, zu einer pneumatischen Spannung, die das Ding am Leben erhält. Warum uns aber in unsere Umwelt soviel Verschiedenes begegnet, das erklären die Stoiker eben mit dem gleichen Prinzip. Abbildung 22 verdeutlich, welche Faktoren bei der Entstehung von unterschiedlichen Dingen eine Rolle spielen.[68]

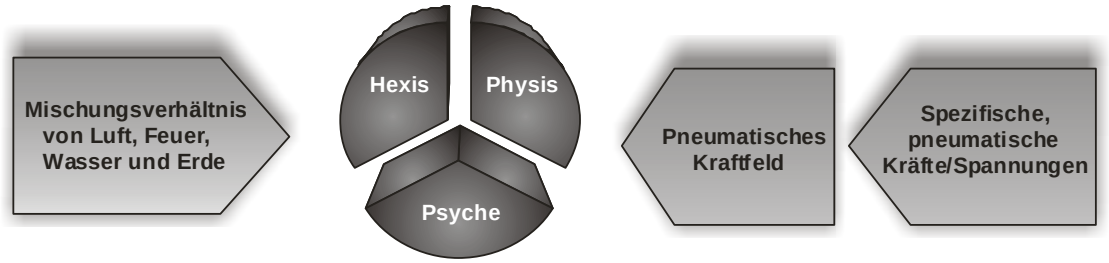


Abb. 22: Entstehung von unterschiedlichen Dingen

In der Linie der bisher besprochenen Wissenschaftler nahmen die Stoiker ebenfalls die vier Elemente an.[69] Ebenso ordneten sie wie Aristoteles den Elementen Qualitäten zu, also die Attribute kalt, warm, trocken und feucht.[70] Das Mischungsverhältnis dieser Elemente bestimmt nun zum Einen, was dem unbelebten Substrat zugrungeliegt. Auf der anderen Seite erzeugen die spezifischen, pneumatischen Kräfte ein Kraftfeld, das schließlich den Ausschlag gibt, was aus dem unbelebten Substrat wird. Dabei unterscheidet man drei verschiedene Einheiten, die entstehen können: Die anorganische (Hexis), die organische (Physis) und die animalische (Psyche).[68]

Wie Aristoteles und Platon postulierten die Stoiker, dass die Elemente ineinander über gehen könnten. Sie gingen sogar noch einen Schritt weiter, indem sie annahmen, dass ein Element aus dem anderen entstehe. Für den Evolutionsforscher interessant ist die in Abbildung 23 dargestellte

Entstehung der Dinge. Die Stoiker vertraten die Ansicht, dass es zwei verschiedene Arten von Feuer gibt. Das schöpferische Feuer ist das, woraus alles entsteht und worin alles vergeht. Zunächst entstehen aus dem schöpferischen Feuer die Elemente in einer bestimmten Reihenfolge. Aus dem Anorganischen und Organischen folgen schließlich die Menschen selbst. Nach einer unbestimmten Zeit gehe alles in einem Weltbrand auf und ende im schöpferischen Feuer. Schließlich beginne der Zyklus von vorn. Dabei nehmen die Stoiker an, dass bei jedem Zyklus ein jeder Mensch neu entsteht, es also in jedem Zyklus beispielsweise eine Platon gibt.[41, 67, 71]
Die Überlegung über die Existenz eines Weltzyklus ist nicht nur in der Stoa sondern auch in der heutigen Kosmologie aktuell, denn man stellt sich wieder die Frage, ob das Universum immer wieder neue Zyklen durchläuft.

Im Vergleich zu Aristoteles beschäftigten sich die Stoiker jedoch noch genauer mit dem Aufbau der Materie. Man könnte sagen, sie gewannen wertvolle chemische Erkenntnisse, obwohl sie durch die Ablehnung des Atomismus der Chemie im Weg standen. Zum Beispiel unterschieden sie zwischen Mischungen, in denen die Bestandteile ihre Eigenschaften behalten und solchen, in denen eine neue Eigenschaft entsteht.[69]

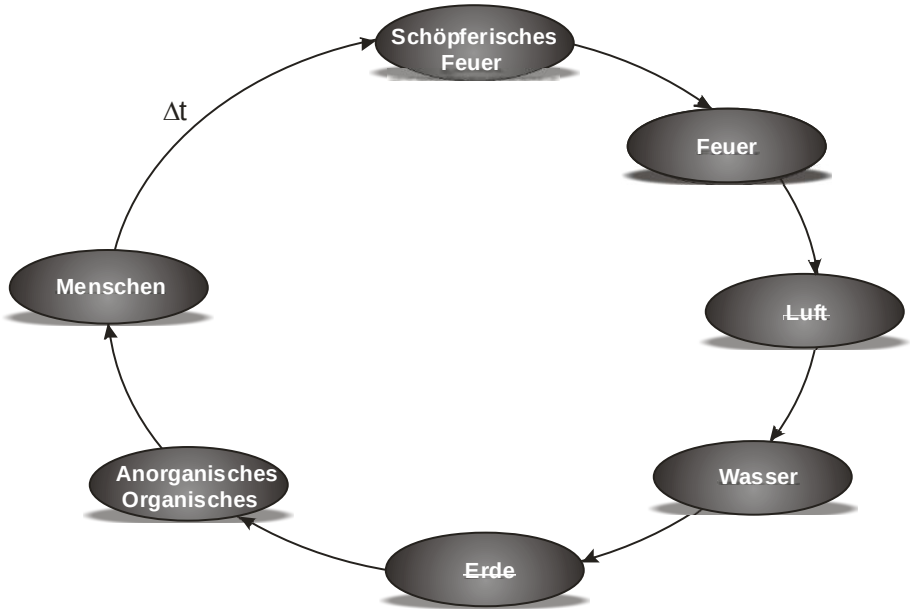


Abb. 23: Weltzyklus

Heute kennt man diesen Unterschied ebenfalls. Beim Lösen eines Salzen in Wasser liegen die Ionen hydratisiert in der Lösung vor, aber sie verhalten sich ihren Eigenschaften entsprechend. Silberkationen (Ag^+) können durch Zugabe von Chlorid als Silberchlorid (AgCl) ausgefällt werden. Aber man kann die Silberkationen auch maskieren, zum Beispiel durch eine Komplexierung mit Ammoniak. Dann können sie mit Chlorid nicht mehr ausgefällt werden, wie es ihrer Eigenschaft entspricht. Der gebildete Komplex unterscheidet sich in seinen Eigenschaften deutliche von seinen

Bestandteilen. Außerdem sprechen die Stoiker von totalen Durchmischungen, heute würde man sie vermutlich Verbindungen nennen. Sie entwickeln des Weiteren ein erstaunlich prägnantes Verständnis von Konzentrationen. So stellten sie fest, dass ein Tropfen Wein im Meer trotzdem eine geringfügige „Note“ des Weines hinterlasse.[72, 73] Was den Übergang der Elemente betrifft, so kann man aus heutiger Sicht sechs verschiedene „Reaktionen“ postulieren, welche die Stoiker für denkbar hielten.[74]

Abbilung 24 zeigt eine moderne Interpretation der Reaktionen, die schon die Stoiker postulierten. Für sie war die Vereinigung und der Verfall von Mischungen (Verbindungen) ebenso denkbar wie die Änderung des Aggregatzustands. Außerdem kann man drei verschiedene Arten von Umwandlungen annehmen. Zum einen eine Umwandlung, die man mit radioaktiver Strahlung vergleichen könnte. Dabei verändert sich der Stoff an sich in einen anderen. Die zweite mögliche Umwandlung ist die Änderung einer Eigenschaft des Stoffes, wobei der Stoff er selbst bleibt. Drittens kann zwischen verschiedenen Stoffen eine „Umordnung“ stattfinden.[74]

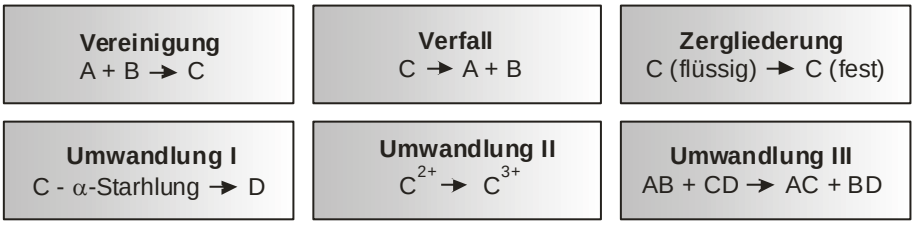


Abb. 24: Moderne Interpretation von stoischen Reaktionen

Im Großen und Ganzen haben es die Stoiker geschafft einen Schritt weiter zu denken, als Aristoteles es tat. Sie gleiten nicht auf die metaphysische Ebene ab, sondern denken die ansatzweise „chemischen“ Annahmen konsequent zu Ende. Trotzdem lehnten sie die Atome strikt ab. Und eben diese Ablehnung ist es, die es unmöglich gemacht hat, dass sich aus ihrer Lehre eine fundierte wissenschaftliche Grundlagenchemie entwickeln konnte. Erst heute, vor dem Hintergrund der Quantenmechanik, fällt auf, dass es nicht nur die Lehre Demokrits ist, die allein für die moderne Naturwissenschaft von Nutzen war. Der heute gelehrte Welle-Teilchen-Dualismus zeigt, dass nicht nur ein Verständnis von Teilchen, von Atomen, von Nöten ist, so wie es Demokrit lehrte, sondern, dass die Stoa mit ihrem Pneumabegriff gar nicht so weit von einer Wellenvorstellung entfernt war. Die Kombination aus Atomismus und der Pneumalehre findet sich also in der modernen Quantenmechanik wieder. In dieser Hinsicht ist die Stoa also gewissermaßen modern. Aber zu einer Basis, einer fundamentalen Mechanik oder einer grundlegenden Teilchenchemie verhalf sie nicht.

Wie bei Aristoteles entwickelte sich in der Stoa ebenfalls eine Möglichkeit die empirischen Dinge in Kategorien einzuteilen. Mithilfe dieser vier Kategorien ist es möglich zu der Erkenntnis zu gelangen, was ein Ding eigentlich ist. In Abbildung 25 ist veranschaulicht, um welche vier Kategorien es sich handlet.[68-70] In der Mitte der Abbildung ist ein aktives Metallzentrum des Hämoglobins gezeigt. Der Sauerstofftransport wird durch die Anbindung von Sauerstoff an das durch einen Porphyrinring komplexierte Eisen ermöglicht. Das Molekül soll in diesem Fall ausschließlich zur Veranschaulichung

dienen. Die Stoiker verwendeten solche Vergleiche freilich nicht. Die erste Kategorie ist das Substrat (ὑποκείμενον). Es beschreibt das, was dem Ding zugrunde liegt, abgesehen von allen Qualitäten. Betrachtet man das Eisenatom, so besteht es nüchtern betrachtet aus Elektronen, Protonen und Neutronen, aus Teilchen die eine Masse besitzen, man könnte auch sagen, aus einem Stoff oder aus Materie. Als nächstes können die Qualitäten oder die Eigenschaft (ποιόν) des Eisenatoms bestimmt werden. Die Qualität des Atoms zeichnet sich dadurch aus, aus wie vielen jeweiligen Bausteinen es aufgebaut ist. Die Anzahl seiner Elektronen bestimmt die Oxidationszahl. Desweiteren sind die Lage der Atomorbitale charakteristisch. Zuletzt bleibt das Verhalten (πὸς ἔχον) und das relative Verhalten (πρός τι πὼς ἔχον) zu bewerten. Die meisten Dinge können oft erst in ihrem Verhalten zu einem anderen, also im relativen Verhalten, charakterisiert werden. Im Falle des Eisenatoms kann man sein Verhalten gegenüber dem Liganden beschreiben. Es ist von Interesse, in welcher Weise die Orbitale durch die Bindung aufgespalten werden und ob ein high- oder low-spin Komplex vorliegt. Dann kann man die Bindung an die Proteinmatrix betrachten, die in der Abbildung durch den Histidinrest gezeigt werden soll. Zuletzt ist auch vor allem für menschliches Leben die Anbindung des Sauerstoffs von großer Bedeutung. Betrachtet man Rost, dann kann es sein, dass die ersten drei Kategorien eines isoliert betrachteten Eisenatoms identisch sind und sich das Eisenatom im Rost nur durch die vierte Kategorie vom Eisenatom im Protein unterscheidet.

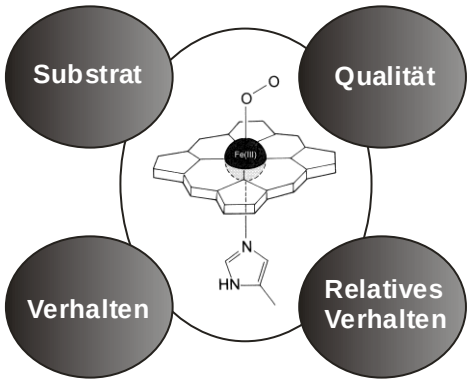


Abb. 25: Die vier Kategorien der Stoiker[59]

Aber was bedeutet es nun in letzter Konsequenz für die Stoa, wenn sie materialistisch ist? Materialismus bedeutet zuletzt auch, dass alles was da ist körperlich sein muss.[69] Unweigerlich denkt man, dass die stoische Vorstellung also gar nicht so verschieden von den Überzeugungen der Atomistiker sei. Aber tatsächlich folgten sie Aristoteles in seiner Atomismuskritik. Die Stoiker waren davon überzeugt, dass es keine kleinsten unteilbaren Einheiten gebe. Sie ließen das Vakuum außerhalb der Welt zu, aber in ihr schlossen sie es aus.[73] Zu diesem Standpunkten bewog sie aber nicht eine physikalische Überlegung, sondern vielmehr eine religiöse Überzeugung. Sie verstanden den ganzen Kosmos als eine kontinuierliche Einheit, die bis ins Geringste von einer wirkenden Macht, einer Gottheit, durchzogen sei. Sie dachten die Welt pantheistisch. Konsequent

betrachteten sie die Gottheit ebenfalls als körperlich, eine Gottheit, die nur durch mechanische Einwirkung eingreifen kann. Einer solchen Gottheit wäre es nicht möglich völlig ununterbrochen zu wirken, wenn es in der Materie ein Riss, also ein Vakuum gäbe. Für die Stoiker war also der leere Raum aus religiösen Gründen undenkbar.[69]

Hier stellt man fest, dass das eigentliche Ziel der Physik tatsächlich verschieden war, mit den heutigen Vorstellungen. Vermutlich betreiben heute zumindest wenige Physiker Naturwissenschaft aus dem Grunde einer Gottheit näher zu kommen. Auch würde in der empirischen Wissenschaft eine religiöse Begründung physikalischer Dinge wohl kaum die breite Mehrheit der Wissenschaftler überzeugen. Man könnte sagen, der Schwerpunkt der stoischen Physik war im Vergleich zu heute sehr stark religiös geprägt.

Dabei bleibt zuletzt die Frage: Woraus resultiert das alles? Eine pantheistische Philosophie setzt natürlich voraus, dass das Göttliche in den Dingen, in der Natur selbst zu finden ist. Aber im Falle der Stoa kann man noch konkreter werden. Der letzte Grund des Seins wird auf die Urkraft zurückgeführt, die auch als Urfeuer (vgl. schöpferisches Feuer in Abbildung 23), Urpneuma oder Weltseele genannt wird. Diese Urkraft ist in die Weltvernunft, das Weltgesetz, die Vorsehung und das Schicksal gegliedert.[41] Das heißt: der eigentliche Grund dafür, wie ein Stoff geformt wird, ist nicht durch physikalische Prozesse zu erklären, sondern er ist auf den Materialismus und den Pantheismus zurückzuführen.

Aber wie soll man sich jetzt in einer solchen Welt verhalten? Auf diese Frage bietet die stoische Ethik eine genaue Antwort. Das Ziel der stoischen Ethik ist es, das richtige Lebensziel zu bestimmen. Nur mit dem richtigen Lebensziel im Blick ist eine korrekte Lebensführung möglich die schließlich zur Eudämonie führt. Das Ziel der Stoiker war nicht das „Aufsteigen“ im Tod sondern das Leben im Diesseits.[67, 70] Trotzdem spielte der Begriff der Seele eine Rolle. Für die Stoiker war die Seele immer mit Pneuma zusammen zu denken. Sie betrachteten sie als eine Zusammensetzung aus Feuer und Luft, also als einen Körper, ebenso wie die Stoiker die Eigenschaftens selbst auch als körperlich dachten.[67] Allerding ist die konkrete Beibehaltung dieser Vorstellung schon Aristoteles und Platon schwer gefallen, denn denkt man die Seele als etwas, dass den Körper durchdringt, dann wird es schwer sie materiell zu begründen. Aber ob und in welchem Grad die Seele ein Körper ist oder nicht, ist für die Ethik in erster Linie nicht von belang. Wichtig ist, dass die Stoiker eine Vernunftseele (ἡγεμονικόν) annahmen, die im Menschen herrschen sollte und im Kopf lokalisiert war.[41] Demnach ist das Lebensziel der Stoiker ein vernunftgemäßes Leben, ohne inneren Zwiespalt und nach festen Grundsätzen.[70]

Was aber passiert, wenn die Vernunft versagt, ist weit vielschichtiger. Zunächst taucht der Begriff der Triebe auf. Ein Trieb wird dadurch ausgelöst, dass der Körper der Seele eine Vorstellung von etwas impliziert. Diese Vorstellungen kommen meist spontan, daher wird der Trieb auch oft als Affekt bezeichnet. Der Trieb wird quasi zum Affekt, wenn die Vernunft nicht mehr über ihn herrscht. Unter Affekten versteht man Schmerz, Furcht, Begierde und Lust. Um den Affekt unter Kontrolle zu bringen gibt es zwei Möglichkeiten. Ein solches Hilfsmittel ist die Zeit, denn sie bringt inneren

Abstand zu dem Trieb. Eine zweite Möglichkeit ist es, die Vorstellung auszulöschen, die zu dem spontanen Trieb geführt hat, etwa durch Objektivität und ausschalten von Gefühlen. Auf der anderen Seite gibt es auch edle Affekte, die den triebhaften Affekten oppositionell gegenüber stehen (Abbildung 26).

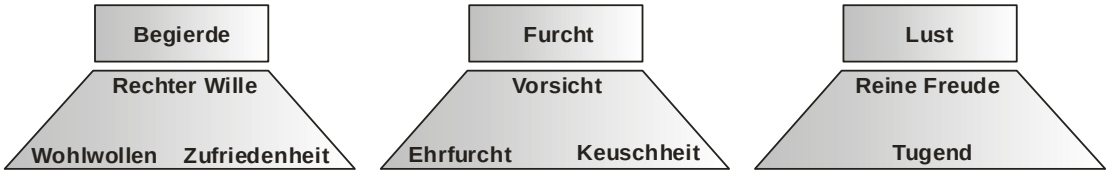


Abb. 26: Die Affekte und ihre oppositionellen edlen Affekte

Die Begierde steht zum Beispiel dem rechten Willen gegenüber zu dem Wohlwollen und Zufriedenheit gehört.[41] Der eigentliche Grund der Triebe liegt aber nicht in einer spontanen Vorstellungskraft an sich, sondern in etwas anderem, nämlich in einem Zugewandsein zu sich selbst.[70] Dieses Gefühl nennt der Stoiker Oikeiosis. Es bedeutet, dass man sich um sich selbst sorgt, mit sich selbst vertraut ist und eine gewisse Zuneigung zu sich selbst verspürt. Diese Oikeiosis macht es überhaupt erst möglich, dass man sich falschen Vorstellungen hingibt, sei es aus Selbstschutz oder aus einem anderen Grund heraus.[75] Trotz allem bleibt die grundsätzliche Frage, was eigentlich sittlich gut ist zunächst einmal offen. Grundsätzlich entwickelt die Stoa die Ethik aus dem Sein heraus, es geht um eine naturalistische Menschennatur. Aber das sittliche Tun geht über das Naturalistische hinaus, denn es hat jetzt etwas mit Pflicht zu tun. Tatsächlich war die stoische Ethik im Vergleich zu der von Aristoteles praktisch orientiert. Die Stoa hatte eine praktische Tugendlehre. Die Stoiker interessierten sich in ihrer Philosophie allgemein mehr für die Praxis als für die intellektuelle Herausforderung. Sie bezeichnete eine Tugend ohne Handlung als leer. Abbildung 27 fasst die Forderung der stoischen Ethik zusammen.[41]

Das entschlossene Handeln steht im Vordergrund, wobei der Leitspruch ἀνέχου καὶ ἀπέχου, ertrage und entsage, dabei progammatisch zu verstehen ist. Epiktet sagte dazu: „Du sollst nicht sagen, dass du ein Philosoph bist, noch unter deinen Bekannten viel reden über Probleme, sondern tue, was aus deinen Einsichten sich ergibt. Beim Essen zum Beispiel rede nicht, wie man essen soll, sondern iß, wie es sich gehört!“

Zu einem Leben der Tat gehört außerdem der eigenen Linie treu zu sein, also immer auf einen geraden Weg zu bleiben und davon nicht abzuweichen. Darum sagen die Stoiker der Reue auch ab. Zuletzt, und das unterscheidet die stoische Ethik maßgeblich von der aristotelischen, gehöre zu einem Leben der Tat am gesellschaftlichen Leben teilzuhaben. Auf der anderen Seite fordert die praktische Tugend zur Apathie auf. Das heißt, die Affekte müssen zum Schweigen gebracht werden und der Blick solle auf das große und ganze Bild gerichtet sein. Die Gesetze und die Notwendigkeit stehen im Vordergrund.

Letztlich geben die Antwort auf die Frage nach dem Verhältnis zwischen Ethik und Physik die Stoiker selbst. Gemeinsam mit der Logik sehen sie die Philosophie als zusammengehöriges Konstrukt. Sie

vergleichen die Philosophie mit einem Ei. Der Dotter sei dabei die Ethik, das ungeborene Küken. Das Eiweiß entspreche der Nahrung für das Küken und sei demnach die Physik. Die Logik schließlich biete dem Ganzen einen festen Rahmen und sei mit der Schale zu vergleichen.[70] Das heißt, die Naturwissenschaft hat ein ethisches Ziel, so wie das Eiweiß zur Ernährung des Kükens gedacht ist. Heute ist man wohl oft in der Naturwissenschaft eher der Ansicht, die Ethik sei ein sekundäres Problem. Aber für die Stoiker war es ganz klar: Die Physik wurde schließlich nur mit einem Ziel betrieben: Eudämonie. Und dieses Ziel ist ethisch. Noch Demokrit, Platon oder Aristoteles konnten in ihren Philosophien ein solches Verhältnis bieten. Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft waren in der stoischen Philosophie vielfach miteinander verstrickt und dienten dem gleichen Ziel. Noch dazu präsentiert sie sich bemerkenswert praxisnah. Die Zielsetzung von Physik und Ethik sowohl der konkrete Aufruf zum Handeln lassen echte ethische Hingabe erkennen. In der stoischen Philosophie findet man den genauen Gegensatz zu dem, was uns in der modernen Wissenschaft begegnet. Die Physik wird in der Stoa Werkzeug der Religion.

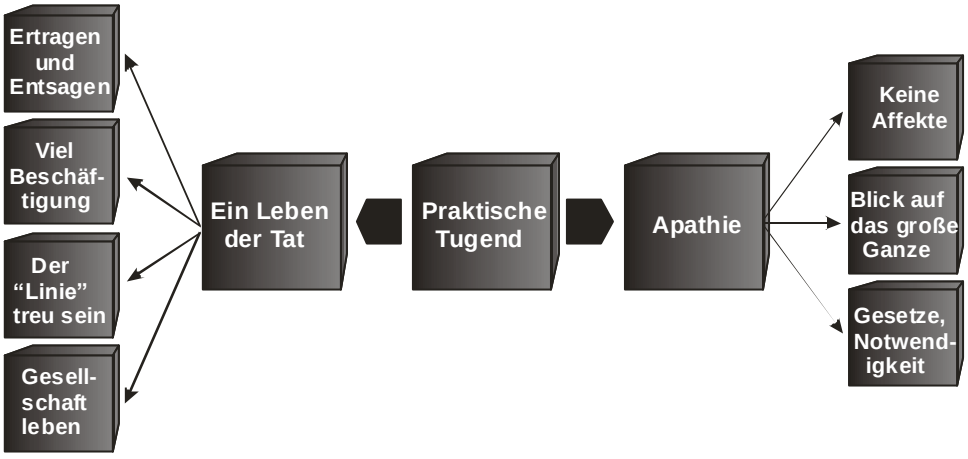


Abb. 27: Forderungen der praktischen Tugend

Aber was genau ist das Verbindungsglied von Ethik und Physik? Hier spielt der Pneumabegriff eine wichtige Rolle. Pneumatische Kräfte und Spannungen sind das, was sowohl die Materie als auch den Menschen zu dem macht, was er ist. Das heißt, der Mensch lebt nach dem Pneuma. In diesem Zusammenhang tauchen in der stoischen Lehre immer wieder Begriffe wie Schicksal, Ursachenreihe und damit auch Kausalität oder Fatum und Vorsehung auf. Gleichzeitig wird aber auch, gerade in der praktischen Ethik, die Freiheit sehr betont. Der Mensch sei Herr über die Vorstellungen und könne zum Beispiel Gesetze wählen oder verwerfen. Es erscheint doch kurios, dass sich hier das Schicksal der Freiheit oppositionell gegenüber stellt, aber keines von beiden an Wichtigkeit einbüßen soll.

Nach dem Schicksal leben, bedeutet auch gleichzeitig, im Naturzusammenhang stehen. Das bestätigt die Telosformel nach Chrysipp, der das Leben in Übereinstimmung mit der All-Natur forderte. Aber bedeutet ein Leben nach einer Vorsehung nicht auch, dass man seine Freiheit einbüßt?

Auf der anderen Seite soll der Mensch frei sein, er soll die Wahl und damit auch eine Verantwortung haben. Man muss sich fragen, ob ein freier Mensch dann automatisch aus dem Naturzusammenhang herausfällt. Natürlich gab es Lösungsansätze für dieses Problem. Chrysipp zum Beispiel beschrieb, dass die Freiheit des Menschen durch seine Verantwortung gegeben sei, ob er sich dem Schicksal hingab. Er forderte eine Bejahung des Schicksals. Freiheit falle mit Notwendigkeit zusammen. Aber ganz befriedigend scheint diese Lösung auch nicht zu sein.
Letztlich muss erkennt man, dass dieses Paradoxon zwischen Schicksal und Freiheit vom Materialismus her kommt. Für den Stoiker ist das Naturgesetzt immer verknüpft mit der körperlichen Welt. Aber er lässt außer acht, dass das Menschliche und Ethische anderen eigentümlichen Gesetzten unterliegt. Weltgesetz und Kausalität machen es aber unmöglich die Freiheit anzunehmen.
Bei genauerer Betrachtung stellt man fest, dass diese Gegensätzlichkeit genau das ist, was die Verbindung zwischen Physik und Ethik ausmacht. Entscheidet man sich also für die Freiheit, für die Ethik oder für das kausale Schicksal, also für die Natur. Und die Frage, wie viel Willensfreiheit dem Menschen wirklich zugute kommt und für welches Handeln er verantwortlich gemacht werden kann, ist heute genauso aktuell, wie zu den Zeiten der stoischen Schulen.[41, 69, 70]

2.2 Wissenschaftliche Revolution

2.2.1 Die Naturwissenschaft Galileo Galileis

Im Gegensatz zu seinen Zeitgenossen, den Denkern der frühen Neuzeit, scheint Galileo Galilei doch eine besondere Stellung einzunehmen. Tatsächlich ist es so, dass er sich in seiner Lehre stark von der bis dahin als wissenschaftlich anerkannten, aristotelischen Schule abgrenzte. Galilei überwand die aristotelischen Denkstrukturen und besann sich, vor allem an seiner Mathematisierung der Natur sichtbar, auf Platon zurück. Dabei war es die Aufstellung eines neuen Wissenschaftskonzepts, dass die Entstehung einer modernen, methodischen Naturwissenschaft überhaupt möglich machte.[61] In den folgenden Punkten soll gezeigt werden, welche Linie Galilei verfolgte, wo genau die Differenzen zu Aristoteles lagen, warum gerade diese Schwerpunkte für die Entstehung einer modernen Naturwissenschaft wichtig waren und inwiefern diese Entwicklungen auf die Ethik und ihrem Verhältnis zur Physik Einfluss genommen hat.
Die wesentlichen Punkte, in denen Galilei der aristotelischen Lehre eine Neue gegenüberstellt, sind in Abbildung 28 dargestellt.

Aristoteles	Galilei
Dualistische Weltsicht	Einheitlicher Kosmos
Impetus-Physik	Moderne Mechanik
Lehre von den natürlichen Orten	Lehre von der Trägheit
Demonstrative Wissenschaft (Qualität)	Empirie und Experiment (Quantität)
aristotelische Theologie, Philosophie, Kosmologie	methodisch kontrollierbares kausales Denken
Anschauen	Eingreifen

Abb. 28: Gegenüberstellung der aristotelischen und galileischen Lehre

Für die Entstehung einer modernen Naturwissenschaft war die Entwicklung von universellen Naturgesetzen von Nöten. Das setzte allerdings die Abschaffung der Unterscheidung einer sublunaren oder supralunaren Welt voraus, das meint also die Gleichsetzung von der Sphäre über dem Mond, sowie der unter dem Mond.[61] Aristoteles hielt an diesem ontologischen Dualismus fest. Er postulierte, dass man zwischen Himmel und Erde, zwischen irdischer Welt und Kosmos unterscheiden müsse. Er lehrte einen Glaskörper oder eine Kristallschale, die den sublunaren von dem supralunaren Bereich trenne. Galilei allerdings, setzte diese Theorie mit Hilfe seiner Himmelsbeobachtungen außer Kraft.
Das entscheidende galileische Werk in diesem Zusammenhang ist der „Dialog über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische“ (Dialogo).[76]
Der Aufbau des Dialogo ist in Abbildung 29 dargestellt.[77]

Dialogo

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag
Gleichartigkeit von irdischer und kosmischer Welt	Rotation der Erde um ihre eigene Achse	Bewegung der Erde um die Sonne	Die Gezeiten

Abb. 29: Aufteilung des Dialogo

Der Dialogo ist in vier Tage aufgeteilt. Am ersten Tag beschäftigt sich Galilei mit dem Kosmos im Allgemeinen. Er führt aus, dass die irdische und die kosmische Welt gleichartig seien. Dabei bezieht er sich auf Beobachtungen die er schon vorher machte und in seinem Werk „Siderius Nuncius“ beschrieb.[78] Galilei unterbrach seine bisherigen Arbeiten um sich eigens dem Teleskop zu widmen.[79] Mit dessen Hilfe machte er erstaunlich exakte Beobachtungen und zog daraus konsequente Schlüsse. Zum einen sah er Berge auf dem Mond. Abbildung 30 zeigt Ausschnitte aus den Dokumentationen Galileis über den Mond.[80] Manche sind der Ansicht, dass Galilei nur deshalb aus seinen Beobachtungen die richtigen Schlüsse ziehen konnte, weil er in seinen jungen Jahren Künstler werden wollte und somit gut mit dem Spiel aus Schatten und Licht umgehen konnte.[81]

Abb. 30: Ausschnitte aus Galileis Unterlage die Mondbeobachtungen betreffend[81]

Aber der Mond war nicht Galileis einziges Beobachtungsobjekt. Ihm fiel auf, dass die Planeten im Fernrohr als Scheiben erschienen, wohingegen die Fixsterne flackernde Punkte waren. Auch nahm er eine weitere Unterscheidung vor: Die Planeten leuchten im Gegensatz zu den Fixsternen nicht selbst. All diese Beobachtungen ließen für Galilei nur eine Schluss zu: Die Erde ist in die Reihe der Planeten einzugliedern. Die himmlische und irdische Welt ist gleichartig und unterliegt den gleichen Gesetzen. Das stand im deutlichen Gegensatz zu der aristotelischen Lehre. Wie schon in Abschnitt 2.1.3 besprochen, beschrieb Aristoteles die Planeten als ebenmäßige perfekte Kugeln. Die Erde nahm in seiner Philosophie eine Sonderstellung ein. Auf der Erde gäbe es ein ständiges Entstehen und Vergehen, während der Himmel unvergänglich sei. Auf der Erde sei alles ungeordnet, während die Himmelskörper auf geordneten Bahnen liefen. Auf der Erde gebe es verschiedene Gestalte, während alle Himmelskörper vollkommen rund seien. Diese aristotelischen Ansichten verwarf Galilei mit seinen Himmelbeobachtungen völlig.[17, 20, 49]

Am zweiten und dritten Tag im Dialogo beschreibt Galilei die Rotation der Erde um ihre eigene Achse, sowie ihre Bewegung um die Sonne. Diese Theorie unterstützt Galilei mit der Beobachtung der Jupitermonde und der Sonnenflecken. Seiner Ansicht nach ist die Veränderung der Sonnenflecken zum einen der Beweis dafür, dass der himmlische Kosmos nicht unvergänglich ist und zum anderen der Beweis für eine Rotation. Mit der Entdeckung des Jupiters und seinen Monden fand Galilei ein Modellsystem, dass er auf die Erde übertrug. Der Erdmond kreise genauso um die Erde, wie die Jupitermonde um den Jupiter. Und die Erde kreise ebenso um die Sonne, wie der Jupiter es tut. All diese Beobachtungen, die er im Dialogo entfaltete, bestärkten ihn darin, das kopernikanische System zu unterstützen, nämlich die Sonne als Mittelpunkt des Kosmos anzuerkennen. Galilei musste eingestehen, dass die ptolemäische Theorie ebenfalls in der Lage war den Heliozentrismus zu berechnen. Allerdings erschien ihm dieser Weg zu kompliziert. Die Natur wähle immer den leichteren Weg, den das kopernikanische System bot.[17, 20]

Im vierten Tag des Dialogo bespricht Galilei, dass die Gezeiten auf die Bewegung der Erde um die Sonne zurückzuführen sind, und führt dies als weiteren Beweis für ihre Bewegungen an. Das sich Galilei damit irrt, ändert nichts an der Tatsache, dass er mit seinem Glauben an das heliozentrische Weltbild rechtbehalten sollte.[20, 77]

Im Dialogo nimmt Galilei also von seinen aristotelischen Zeitgenossen Abstand. Darum verwundert es umso mehr, dass er vehement an den idealen Kreisbahnen der Planeten festhielt. Man könnte diesen Umstand als einen aristotelischen Rest interpretieren und das obwohl Kepler viel überzeugender die Ellipse lehrte, nachdem er durch empirische Beweise ebenfalls den Kreisbahn ablehnen musste.[20, 82] Johannes Kepler konnte allerdings die von Galilei postulierte Gleichartigkeit des Kosmos unterstützen. Er beobachtete einen Kometen, dessen Flugbahn nach seinen Berechnungen unterhalb des Mondes verlief.[82, 83] Diese Beobachtungen waren nicht mit Aristoteles Vorstellungen von einem Glaskörper, der Sublunar und Supraluna voneinander abgrenzte, überein zu bringen. Allerdings waren Keplers Bemühungen von theologischer Art. Gott habe sowohl den menschlichen Verstand als auch die Natur geschaffen. Die Natur repräsentiere also gewissermaßen Gott. Er hielt die Astronomie für eine Möglichkeit, Gottes Wahrheit näher zu kommen, in gewisser Weise für ein Werkzeug, um Gottes Verstand etwas näher zu kommen. Durch die Betrachtung des Werks, der Natur, sollte der Mensch einen Einblick in den Schöpfer, in Gott, gewinnen. Der Astronom war für Kepler in gewisser Weise ein Mediator, ähnlich wie ein Priester. Keplers Ziel, mit dem er Astronomie betrieb, war zu erfahren, wie Gott sich ein Leben wünscht. Das ist also ein ethisches Ziel.[83] Es ist kaum verständlich, warum sich Galilei niemals auf Kepler bezog und warum er seine ellipsoiden Himmelsbahnen ablehnte. Manche sind der Ansicht, Galilei hätte Keplers Arbeiten nicht ausreichend studiert.[82]

Galilei legte jedoch sein Hauptaugenmerk nicht nur auf die Astronomie. In seinem zweiten großen Werk „Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetzte betreffend“ (Discorsi) trifft man auf eine weitere große Differenz zu Aristoteles. Galilei tauscht gewissermaßen die Impetus-Theorie gegen eine moderne Mechanik.[78] In Abbildung 31 sind die Inhalte der Discorsi knapp umrissen.[77]

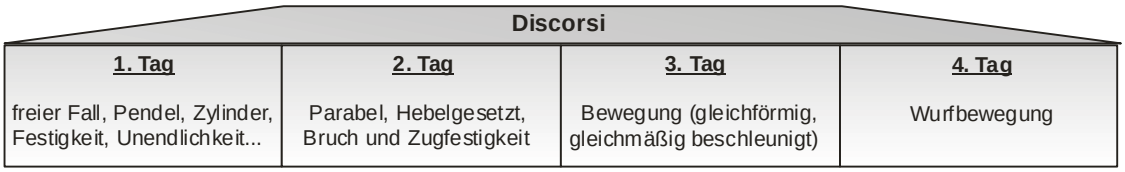


Abb. 31: Aufteilung des Discorsi

Die Bewegungen stehen in diesem ersten physikalischen Lehrbuch im Vordergrund. Am Beispiel der Himmelsbewegungen kann die Entwicklung der Impetus-Theorie besonders gut verdeutlicht werden. In diesem Zusammenhang spielt Philoponos, ein spätantiker christlicher Theologe, eine wichtige Rolle. Er schaffte zunächst Aristoteles‘ Lehre von den Himmelsbewegungen ab, die besagte, dass die Himmelskörper durch überirdische Wesen in ständiger Bewegung gehalten werden. Statt dessen postulierte er einen Demiurg, der eine Bewegungskraft erschaffen hätte, welche die Körper in Bewegung hielt. Johannes Buridan, ein Scholastiker, erklärt später hingegen, dass den Körpern bei der Schöpfung ein Impetus gegeben wurde.[20, 84] Wie man sieht, wird die Erklärung für die Bewegung der Himmelskörper immer mechanischer. Galilei schließlich schafft es

eine zu Ende gedachte Theorie der Mechanik zu entwickeln. Dadurch, dass er die Unterscheidung zwischen Sublunar und Supralunar ablehnt, ist es ihm möglich für die Himmelskörper die gleichen mechanischen Gesetze anzunehmen, die er auch für die irdische Welt postuliert. Er stützt seine Annahmen natürlich auf seine Himmelsbeobachtungen.

Galilei geht es jedoch nicht nur um die Himmelsbewegung, sondern um Bewegungen jeder Art. Und genau diese Bewegungslehre ist es, die die aristotelische Vorstellung von der Lehre der natürlichen Orte ablöst. Wie in Abschnitt 2.1.3 gesagt, unterscheidet Aristoteles zwischen künstlich herbei geführten Bewegungen und solchen, die den natürlichen Dingen innewohnen. Jeder Gegenstand habe einen natürlich Ort, dem er entgegen strebe. Das heißt, der Grund der Bewegung ist das Zustreben auf einen dem Gegenstand zugedachten Ort. In Bewegung befindliche Dinge haben also die Tendenz zur Ruhe zu kommen. Diese Ansicht wurde im Rahmen der Impetus-Theorie immer wieder revidiert. Philoponos geht davon aus, dass der Demiurg den Dingen eine Bewegung impliziert, was einer künstlichen Bewegung höherer Ordnung entspräche. Buridan hingegen geht von einem Impetus aus, der selbständig und unabhängig vom Beweger andauere.[84] Eine besondere Gewichtung liegt auf dem Spezialfall einer bestimmten Bewegung: dem freien Fall. Aristoteles geht davon aus, dass ein bewegtes Objekt zu jeder Zeit vom Beweger weiter bewegt wird.[85] Allerdings stellte sich im Laufe der Zeit die Frage, was die Bewegung eines fallenden Körpers tatsächlich fortdauern lässt. Für Buridan ist das ganz eindeutig der Impetus, den der Körper erfährt, wenn er fallen gelassen wird. Der Fall ist allerdings überhaupt erst dadurch möglich, dass der Körper aufgrund seines Gewichtes anfängt zu fallen.[20] Eine konkrete Beziehung zur Masse des Körpers stellte jedoch erst Galilei her. Galilei interessiert sich für die Geschwindigkeitszunahme eines frei fallenden Körpers und postuliert, dass sich bei einem freien Fall die Geschwindigkeit immer in gleichen Zeitintervallen um den gleichen Betrag erhöhen müsse. Und das, im realen Fall, abhängig von der Masse. Galilei entkräftet die Lehre des Aristoteles über die Fallbewegung mit Hilfe eines Widerspruchbeweises. Die Beweisführung ist in Abbildung 32 graphisch veranschaulicht.

Seine Kritik bezieht sich auf Aristoteles` Postulat, ein schwere Körper falle schneller als ein leichter. Das heißt, dass ein schwere Körper in der gleichen Zeit eine weitere Strecke zurücklegt (s3) als ein leichter Körper (s1). Daraus kann man nun zwei Rückschlüsse ziehen, nimmt man die beiden Körper zusammen. Zum einen sind die beiden zusammengenommenen Körper schwere als der schwere Körper alleine, sollten also einen weiteren Weg (s4) zurücklegen. Aristoteles jedoch postuliert, dass der leichtere Körper den schweren in seiner Fallgeschwindigkeit bremse, dass die beiden zusammengenommenen Körper eine Strecke zurücklegen sollten, die zwischen s1 und s3 läge (s2).[17, 20] Galilei konnte also die aristotelische Lehre an dieser Stelle außer Kraft setzen, weil sie verschiedene Möglichkeiten zur Schlussfolgerung ließ.

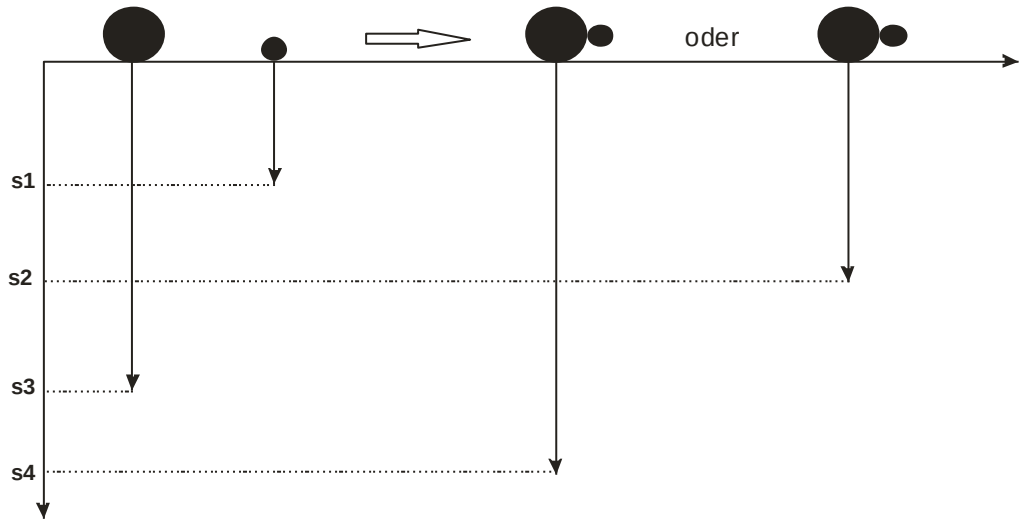


Abb. 32: Graphische Veranschaulichung des Widerspruchsbeweis gegen Aristoteles

Im direkten Vergleich sieht man also, wie groß die Differenzen zwischen Galilei und Aristoteles gewesen sind. Unterscheidet Aristoteles noch zwischen natürlichen und nicht natürlichen Bewegungen, so tauchen bei Galilei Begriffe wie Masse und Trägheit auf. Die Bewegung von der Galilei spricht ist eine grundlegend andere, wie die, von der in der aristotelischen Lehre die Rede war. Galilei hinterfragt die Ursache der Bewegung nicht. Es war nicht die gleiche Art von Bewegung, die Galilei und Aristoteles diskutierten. Das Macht das Trägheitsprinzip besonders deutlich. Bei Galilei gibt es die den natürlichen Dingen innewohnende Bewegung nicht mehr. Alles ist träge und bewegt sich nicht von selbst. [17, 77, 86, 87]

Galilei machte also erstaunliche physikalische Fortschritte. Aber es ist wohl vor allem seine wissenschaftliche Vorgehensweise die den revolutionären Charakter seiner Lehre ausmacht. Zunächst fällt auf, dass Galilei seine Werke in Dialogform anlegte. Das ist Ausdruck einer anderen Wirklichkeitserschließung als die des Aristoteles. Das besondere am Dialog ist, dass sich die Wahrheitsfindung in dessen Verlauf entwickelt. Das steht in deutlichem Kontrast zu Aristoteles und es ist das Besondere an Galileis Werken, dass er dieses Vorgehen als Wissenschaft bezeichnete.

Desweiteren legt Galilei als Erster großen Wert auf das Experiment. Er untermauert seine theoretischen Überlegungen mit experimentellen Beobachtungen. Abbildung 33 zeigt die von Galilei beschriebenen Arbeitsschritten wissenschaftlichen Arbeitens.[20]

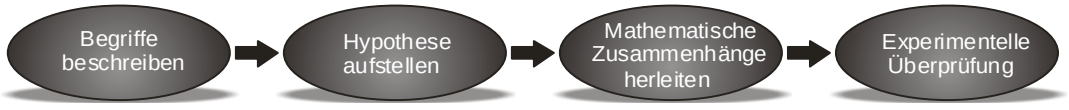


Abb. 33: Arbeitsschritte wissenschaftlichen Arbeitens

Nachdem er die Begriffe genauer beschrieben hatte, stellte Galilei eine Hypothese auf, was der erste Schritt zu einer wissenschaftlichen Betrachtung ist. Aus diesen Hypothesen werden schließlich mathematische Zusammenhänge aufgestellt, die man dann letztendlich experimentell überprüfen

kann. Insgesamt beschreibt das System also ein Zusammenspiel zwischen Theorie und Experiment, dem heute Erfolg zugesagt wird. Aber davon abgesehen, dass Galilei die Vorgehensweise genau beschreibt, mit der man fundierte wissenschaftliche und reproduzierbare Ergebnisse erhalten kann, geht er noch einen Schritt weiter, indem er beginnt zu komplizierte Systeme zu idealisieren. Er vernachlässigt unwichtige Störeinflüsse. In der heutigen modernen Naturwissenschaft kommt diese Methode noch immer zur Anwendung. Als Beispiel sollen die in Abbildung 34 gezeigten Isothermen dienen. Bei der Auftragung des Drucks gegen das Volumen kann man in Abhängigkeit von der Temperatur (T1>T2>T3) den Verlauf der Isothermen einzeichnen. In dem auf der linken Seite gezeigten Diagramm, sieht man den Verlauf der Isothermen eines idealen Systems. In der physikalischen Chemie versteht man unter einem idealen Gas eine Ansammlung von Atomen, die in keinerlei Wechselwirkung zueinander stehen. Sie bewegen sich kontinuierlich in zufälligen und chaotischen Bewegungen, wobei ihre Geschwindigkeit bei zunehmender Temperatur wächst. Außerdem kommt es nicht zu Stößen und ihnen wird kein Eigenvolumen zugedacht. Man verzichtet also in gewisser Weise, wie Galilei es tat, auf „Störfaktoren“, welche die Berechnung des Systems erschweren. Die Isothermen sind Hyperbeln, dass heißt der Druck p verhält sich proportional zu 1/V. Im Vergleich dazu erkennt man sofort, dass die Isothermen eines realen Systems ganz anders verlaufen. Mit sinkender Temperatur durchläuft die Kurve einen Sattelpunkt, der auch als kritischer Punkt bezeichnet wird. Die Isotherme, auf der der Punkt liegt wird als kritische Isotherme bezeichnet. Oberhalb dieser kritischen Temperatur liegt nur ein Aggregatzustand vor, nämlich Gas. Das bedeutet, führt man eine Kompression genau bei der, für jede Substanz spezifischen, kritischen Temperatur durch, kann man das Gas nicht verflüssigen.

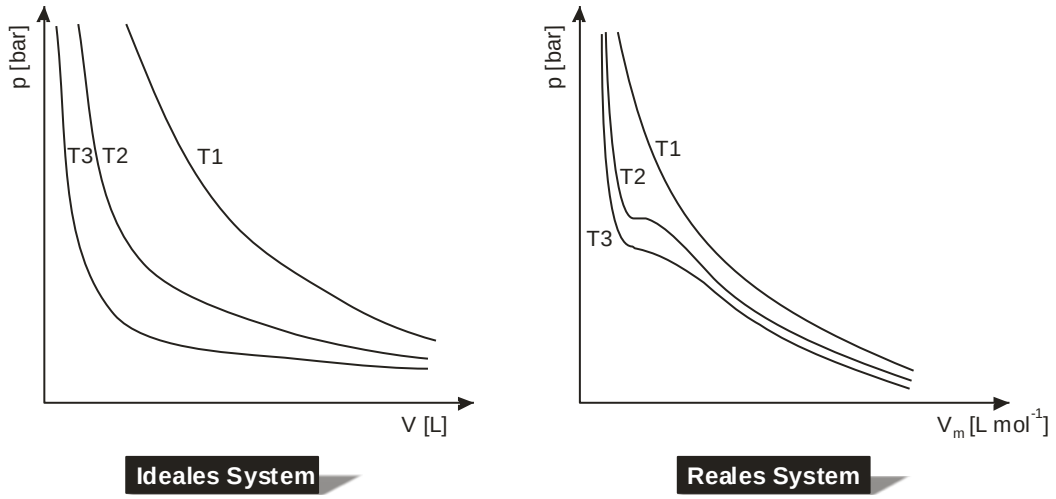


Abb. 34: Vergleich eines idealen und realen Systems

Solche und weitere Phänomene, die bei der Betrachtung eines idealen Systems völlig außer acht gelassen werden, können also in einem realen System von Bedeutung sein. Trotzdem ist es durchaus sinnig sich zunächst mit einem idealen System zu befassen, bevor man sich an ein reales System heranwagt, dass meist so viele Variablen besitzt, dass sie nur getrennt betrachtet werden

können. Anhand eines idealen Systems kann man Einblicke in die Funktionsweise eines Gegenstandes gewinnen, der ansonsten vielleicht durch so viele Faktoren bestimmt wäre, dass eine Näherung an die realen Umstände die einzige Möglichkeit bietet, sich überhaupt damit auseinander zu setzen. Das wusste auch schon Galilei und er schaffte es, aus idealen Systemen korrekte Schlussfolgerungen zu ziehen, die dann am Experiment überprüft werden konnten.[17, 20] Das Verwenden von Experimenten erscheint auf den ersten Blick vollkommen praktisch. Allerdings handelte es sich bei Galilei oft auch um Gedankenexperimente. Aber ob Gedankenexperiment oder nicht, immer versuchte Galilei für seine Experimente die idealen Bedingungen zu schaffen und Störfaktoren praktisch auszuräumen, oder mathematisch auszuklammern.[17] Das reproduzierbare Experiment bringt Galilei den entscheidenden Vorteil gegenüber Aristoteles. Dieser arbeitete selbst zwar ebenfalls empirisch, doch konnte man seine Ergebnisse nicht methodisch reproduzieren. Für ihn stand die sinnliche Wahrnehmung im Vordergrund. Er lehrte, die Sonne gehe auf, weil man es sinnlich eben so erfährt. Galilei jedoch wollte weg vom Augenschein. Er wollte die Dinge messbar machen. Für Galilei bedeutet ein Experiment auch immer die Mathematisierung von Beobachtung. So konnte er von qualitativen Beobachtung durch die Anwendung von Mathematik quantitative Schlussfolgerungen ziehen.[86] Die Quantisierung von Beobachtungen in der Natur ist hier wirklich entscheidend für den Erfolg der galileischen Wissenschaft.

Im Vergleich dazu handelte es sich bei den Lehren Aristoteles` und seinen Nachfolgern um Erkenntnisse, die mit Hilfe von einer demonstrativen Wissenschaft gewonnen wurden. Dazu bedurfte es keiner Empirie. Der Lehraristotelismus zeichnete sich dadurch aus, dass Sachverhalte in Büchern nachgeschlagen wurden. Die Autorität der aristotelischen Worte wurde als Wahrheit anerkannt. Aber diese Art der Wissenschaft konnte nicht zu einer modernen Wissenschaft führen. Diesen Sprung tat erst Galilei, indem er die demonstrative Wissenschaft gegen die methodische Empirie austauschte.

Diese gravierenden Neuerungen im wissenschaftlichen Bereich, führten zu einem weiteren Disput, der heute wahrscheinlich am meisten in Erinnerung geblieben ist. Die Kirche sowie die aristotelische Theologie, Philosophie und Kosmologie, stehen dem methodisch reproduzierbaren kausalen Denken gegenüber. Galilei wird heute oft als Märtyrer der Wissenschaft bezeichnet und ist als ein Mann in Erinnerung geblieben, der wegen seinen wissenschaftlichen Überzeugungen Probleme mit der Inquisition bekam. Es stellt sich die Frage, warum zum Beispiel Kopernikus anscheinend von der Kirche verschont geblieben ist. Dieser Umstand ist verschiedenen Faktoren zuzuschreiben. Zum einen gab Kopernikus sein Werk erst kurz vor seinem Tod heraus. Immer wieder führte er Korrekturen durch. Erst auf Drängen hin ließ er sich überreden sein Werk „de revolutionibus orbium coelestium“ zu publizieren.[88, 89] Außerdem widmete er es Papst Paul III. In seiner Widmung rechtfertigt er sein Werk. Wahrscheinlich war er sich dessen Schwachstellen bewusst und er wusste auch um seine provokative Wirkung.[89] Dort heißt es auszugsweise:

„…Ihr (gemeint ist Papst Paul III) werdet wohl Auskunft darüber erwarten, wie mir der Einfall gekommen ist, dass ich gegen die anerkannte Meinung der Mathematiker und sogar gegen die allgemeine Anschauung gewagt habe, mir irgendeine Bewegung der Erde vorzustellen…“

Kopernikus wusste, dass die Lehre über eine Bewegung der Welt und über den Heliozentrismus theologisch anstößig war, glaubten doch die geistlichen Gelehrten an die Sonderstellung des Menschen im Kosmos und an das Feststehen einer unbeweglichen Erde. Kopernikus greift allerdings wie Galilei auf Platon zurück, er nimmt die Erde aus dem Mittelpunkt des Kosmos heraus und postuliert trotzdem die Erdrotation.[87, 90, 91]

Galilei scheint jedoch die wissenschaftliche Welt seiner Zeit nicht nur durch den Inhalt seiner Werke in Aufruhe versetzt zu haben. Er veröffentlicht auf Italienisch, was ganz und gar nicht den Vorstellungen von wissenschaftlichem Arbeiten entsprach. Man könnte in diesem Zusammenhang von einer Demokratisierung der Wissenschaft sprechen. Galilei entsprach einem neuen Typ des Gelehrten. Er durchbrach die Tradition, indem er nicht nur theoretisch sondern auch praktisch dachte.[14, 20, 42]

Wie gesagt bringt man Galilei also auch immer wieder in den Zusammenhang mit Kirche. Man könnte sogar sagen in Opposition zu ihr. Galilei befürwortete das kopernikanische Weltbild mit seinem Heliozentrismus. Dieses Weltbild versuchte er mit der Bibel in Einklang zu bringen. Er hielt nichts von der grammatischen und wörtlichen Auslegung der Bibel. Galilei war der Meinung, dass empirische Befunde, deren Wahrheitsgehalt man messen und reproduzieren könne, nicht mit Bibelauslegungen außer Kraft gesetzt werden könnten, da man ihre genaue Bedeutung nicht kenne. Er dachte in methodisch reproduzierbaren kausalen Zusammen-hängen. Seiner Meinung nach, war die Wissenschaft eine andere Disziplin, als die Theologie. Man könne sowohl in der Bibel als auch im Buch der Natur Gott erkennen. Die Bibel sei mit Buchstaben, die Natur mit Zahlen geschrieben. Für Galilei war die Naturwissenschaft auch eine Art Gottesdienst, aber man dürfe die beiden Bereiche, die beiden Bücher, also die Bibel und die Natur, nicht vermischen. Diese Einstellung kommt ausgesprochen modern daher und sicherlich erklärte sich Galilei damit ungewollte selbst zum Feind der Kirche. Immerhin wurde er der zweifachen Häresie angeklagt. Zum einen wurde ihm vorgeworfen, er erhebe ketzerische, astrologische Behauptungen und zum anderen gefiel seine methodische Vorgehensweise nicht. Das Ausklammern der Theologie aus der Naturwissenschaft und das damit verbundene Experiment als Instrument, was die Wahrheit offenbaren sollte, fand bei den geistlichen Gelehrten keinen Anklang.[92] Das heilige Offizium erklärte das kopernikanische Weltbild für nichtig und verbot seine Lehre sowie das Buch von Kopernikus. Erst nach sieben Jahren brachte Galilei den Dialogo heraus, in dem er das kopernikanische und das ptolemäische Weltbild gegenüber stellte. Allerdings konnte jeder Leser wohl Galileis Schwerpunkte aus diesem Werk herauslesen. Nach seiner Verurteilung und dem Verbot des Dialogos brachte Galilei noch kurz vor seinem Tod die Discorsi heraus. Er selbst leugnete die unbestreitbare Wahrheit des kopernikanischen Systems vor der Inqisition.[14, 93, 94] Schließlich war der Dialogo nur veröffentlicht

worden, nachdem Galilei einige Änderungen einarbeiten musste.[95] Aber wie lag die Beweislage wirklich? Es stellt sich die Frage, ob Kopernikus oder Galilei die Bewegung der Erde um die Sonne tatsächlich hätten beweisen können. Da uns heute der Heliozentrismus ganz selbstverständlich erscheint, werden uns wohl auch Galileis Beweise genügen, die er für die Bewegung der Erde um die Sonne vorbringt. Aber der Sachverhalt würde in einem anderen Licht erscheinen, wenn wir bisher davon überzeugt gewesen wären, die Erde sei der Mittelpunkt des Kosmos. Zu Galileis Zeit galt allgemein die Annahme, dass eine Theorie richtig sei, wenn sie mit den Beobachtungen übereinstimme. Galilei ergänzte wie gezeigt, dass eine Annahme als bewiesen galt, wenn sie durch das Experiment nachgewiesen werden konnte. Sowohl das ptolemäische, als auch das kopernikanische Weltbild halten allerding einer solchen Beweisführung stand. Es mag sein, dass die Berechnungen im ptolemäischen System komplizierter waren, aber sie konnten auch mit den Neuerung die Galilei einführte Schritt halten. Man hätte also nur sagen können, dass beide Systeme richtig seien. Vielleicht wusste das auch schon Galilei. Er musste sich zweifellos der Frage stellen, ob seine Wissenschaft nur ein Instrument war und ob sie überhaupt zur Wahrheit oder nur zu weniger komplizierten und zweckmäßigeren Formeln führte. Eine Frage, die heute immer noch aktuell ist. Wie man es heute tut, benutzte Galilei seiner Zeit ebenfalls Theorien. Aber die Eindeutigkeit der Wahrheit von Theorien lässt sich nun mal nicht zeigen. Eine Theorie bieten nur mögliche Erklärungen.[14]

Das Experiment lässt Galileis Lehre also in einem neuen Licht erscheinen. Für ihn war es wohl eine Möglichkeit die Natur auf ihre Funktionsweise hin zu befragen, nämlich in der Sprache der Mathematik.[87] Und damit kommt man auf das zu sprechen, was so unscheinbar hinter der ganzen Physik hinten ansteht. Galilei war keinesfalls Ketzer sonder gläubiger Katholik. Seiner Meinung nach war die Welt die Verwirklichung der göttlichen Mathematik, die man nur im Angesicht Gottes voll und ganz begreifen kann. Er vermutete, dass die Menschen nur einen kleinen Teil dieser Mathematik kennen würden. Aber jeder noch so kleine Teil offenbare ein Stück von Gott. Die Mathematisierung der Natur war für Galilei das natürlichste der Welt, die Möglichkeit um Gott näher zu kommen. Die Frage ist, welches Licht diese Erkenntnis auf seine Physik wirft und ob er der klassische Naturwissenschaftler war, wie wir ihn uns heute vorstellen.[17] Aber welchen Zweck die geometrische Mathematisierung für Galilei auch gehabt haben mag: damit wird die Philosophie der Natur zu einer Wissenschaft der Natur. Zu einer reproduzierbaren, berechenbaren und empirischen Wissenschaft. Die Qualität wird zur Quantität. Wie schon erwähnt, beruft sich Galilei auch auf Platon, der selbst in geometrischen Formen und mathematischen Formel gedacht hatte, wieder ganz im Gegensatz zu Aristoteles.[87, 93] Die sinnliche Wahrnehmung wird durch quantifizierbare Ergebnisse ersetzt und die aristotelische Theologie muss dem methodisch reproduzierbaren kausalen Denken weichen und damit geht die Orientierung der Wissenschaft an der Theologie verloren. Das bringt natürlich mit sich, dass das Verhältnis von Ethik und Naturwissenschaft ebenfalls davon betroffen ist, wie im Folgenden noch gezeigt werden wird.

Auch wenn Galileis Wissenschaft vergleichsweise anwendungsfreundlich erscheint, war Galilei allerdings kein Praktiker im eigentlichen Sinne.[20, 87] Im Prinzip ist in diesem Punkt Galilei Aristoteles

gar nicht so unähnlich. Beide Lehren hatten ihr Anwendungspotential, aber man darf nicht vergessen, dass die technologischen Fortschritte dieser Zeit nicht mit den Lehren Galileis gleichzusetzten sind. Galileis Discorsi ist natürlich voll von Lehren, deren Anwendungsbezug aus heutiger Sicht völlig einsichtig ist, dabei kamen sie doch erst viel später zum Zuge. Galilei war in erster Linie an der theoretischen Erkenntnis interessiert, doch kann man natürlich auch nicht sagen, er sei profaner Theoretiker gewesen. Sicherlich entwickelte Galilei einige technische Neuerungen, aber als Ingenieur im eigentlichen Sinne kann er wohl nicht bezeichnet werden.
Was die Wissenschaft von Galilei außerdem gravierend von der Naturphilosophie der Antike unterscheidet, ist ihr Zweck. Galilei setzte sich mit Hilfe seiner Wissenschaft mit der Natur auseinander, was sie zu einer Wissenschaft der Natur zu einer Naturwissenschaft machte.

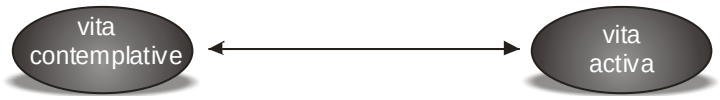


Abb. 35: Zwei verschiedene vitae

Man spricht in diesem Zusammenhang von zwei verschiedenen vitae (Abbildung 35). Der Übergang von der *vita contemplativa*, also dem betrachtenden Leben, zur *vita activa*, also dem praktischen Denken, ist dadurch gekennzeichnet, dass Sinn und Zweck der Wissenschaft nicht mehr die bloße Betrachtung der Natur ist, sondern auch deren Beherrschung. Durch das Verständnis der Naturmechanismen will der Mensch Macht über die Natur gewinnen und sie verändern. Allerdings ist fraglich, ob Galilei diesen Besitzanspruch auch gehabt hat. Zweifellos wollte er verstehen, auf welchen Bahnen sich die Planeten bewegen, doch die Laufbahnen zu verändern, war wohl nicht sein eigentliches Ziel.[87]
Es bleibt die Frage offen, ob es in diesem Wissenschaftssystem auch noch Raum für eine Ethik gab. Grundsätzlich muss man sich vor Augen halten, wie weitreichend Galileis Ergebnisse waren und welche Folgen sie mit sich zogen. Es veränderten sich die kompletten Vorstellungen über den Kosmos. Das Universum wurde einheitlich gedacht und Mensch und Erde etwas von ihrer Sonderstellung entthront. Für den Himmel und die Erde galten nunmehr dieselben Gesetze, was dazu führte, dass erstmals die Physik auch auf die Astronomie angewendet werden konnte. Dabei fallen allerdings alle Betrachtungen weg, bei denen es um Werte, Vollendung, Harmonie, Bedeutung und Zweck geht. Der Kosmos wird in physikalischen Formeln gedacht und nicht mehr auf seinen Sinn und Zweck untersucht. Die Ethik fällt bei Galilei quasi weg. Für sie ist kein Patz und sie ist auch nicht Galileis Anliegen. Das war der eigentlich revolutionäre Gedanke des 17. Jahrhunderts. Auch die Quantifizierung trägt einen großen Teil dazu bei, dass der Zusammenhang zur Ethik völlig verloren ging. Die Natur wird entspiritualisiert und das Handeln rückt in den Vordergrund. Darum hielt sich Galilei auch an Archimedes, der schon zu seiner Zeit ein Praktiker war. Seine Lehre war allerdings seiner Zeit voraus. In der Antike war praktische Wissenschaft nicht salonfähig. Praxis galt als niedere Tätigkeit. Daher setzte sich auch Archimedes nicht durch. Galilei trifft in der frühen

Neuzeit auf eine Gesellschaft die allmählich ein Interesse an der Entstehung einer praktischen Wissenschaft hat. Die moderne Physik wurde sozusagen von der Gesellschaft gebraucht. Der Mensch hatte ein anderes Bewusstsein, als er es noch in der Antike hatte. Die Natur muss sich dem Menschen fügen und nutzbar gemacht werden. Genau diese Einstellung ist es allerdings, die uns heute auch zu ethischen Problemen führt. Die Orientierung am Nutzen der Natur, verändert das Weltgefüge fundamental. Die Natur an Sich wird ihres Zwecks enthoben. Sie hat von sich aus nun keinen Sinn mehr zu erfüllen, sondern dient der Erfüllung der Wünsche der Menschen. Das ist ein völlig neuer Umgang mit der Natur und das führt auch zu einer neuen Ethik. Diese Veränderung des Naturbewusstseins ebnet sozusagen dem Utilitarismus mit seinem Nützlichkeitsprinzip den Weg. Die Natur wird auf ihren materiellen Wert reduziert und sie hat keinen Eigenwert mehr. Die Frage, ob die Natur beliebig zu manipulieren ist und welche Folgen das Eingreifen in die Natur auf Basis von Kosten-Nutzen-Rechnungen hat, wird im Folgenden noch zu klären sein.[61]

Galileis Physik ist beeindruckend genau und auch faszinierend vielseitig. Egal ob man seine Betrachtungen den Kosmos betreffend ins Auge fasst oder ob man sich seiner Mechanik oder Bewegungslehre zuwendet. Er schafft es, von empirischen Beobachtungen ausgehend, seine Gedankengänge konsequent bis zum Schluss zu folgen und aus qualitativen Beobachtungen quantitative Schlussfolgerungen zu ziehen. Mit seinen neuen wissenschaftlichen Methoden, dem Experiment und der Idealisierung, bereitet er der modernen Physik den Weg, auch wenn seine Lehren erst nach und nach zur Anwendung gebracht wurden. Noch heute beruft man sich in Bereichen der Biomechanik oder der Neurowissenschaften auf Galilei, ganz zu schweigen von seinen wichtigen Arbeiten für die allgemeine Physik.[80, 96] Galilei steht in einem ganz besonderen Verhältnis zur Geistlichkeit und vielleicht ist er uns auch deswegen so in Erinnerung geblieben, weil er oftmals und fälschlich als Gegner der Kirche beschrieben wird und ein Symbol dafür geworden ist, dass Naturwissenschaft und Religion vermeintlich nicht zu einander passen können.[87, 93, 97]

2.2.2 Der Zweck der Naturwissenschaft nach Bacon

Bei der Betrachtung der Entwicklung von Naturwissenschaften und ihrem Verhältnis zur Ethik, ist Galileis Zeitgenosse Francis Bacon unabdinglich, der auch als Philosoph der Industrialisierung bezeichnet wird.[42, 98] Bei ihm verändert sich das Verständnis von Sinn und Zweck der Wissenschaft enorm. Es fällt auf, dass bei der Betrachtung Bacons immer wieder die Frage aufgeworfen wird, ob er nun Philosoph oder Wissenschaftler war. Dieser Zwiespalt scheint zugleich auch programmatisch zu zeigen, welches Problem auftaucht, wenn man seine Lehre betrachtet. Nicht nur bei Bacon als Person ist es unklar, ob er Wissenschaftler oder Philosoph war, sondern die gleiche Frage kann man auch an seine Lehre richten. Im Laufe der Betrachtung wird gezeigt werden, dass man oft nicht genau sagen kann, ob Bacons Werk der Philosophie oder der Wissenschaft zugeordnet werden kann. Dabei wird der Begriff der Magie eine gewisse Rolle spielen und man wird erkennen, dass Bacon in manchen Bereichen gar nicht so neuartig denkt, wie erwartet[42] Doch zunächst trifft man

auf ein viel allgemeineres Problem, dass Bacon mit sich bringt. Tatsächlich scheint er von vorne herein schwer einzuordnen zu sein.
Abbildung 36 verdeutlicht, in welcher Weise Bacon an der Schwelle zwischen Renaissance und Neuzeit steht. Die Naturforschung gewinnt gegenüber der Philosophie immer mehr an Bedeutung. Jetzt ist es nicht mehr die Wissensvermehrung des Wissenschaftlers selbst, die im Vordergrund steht, sondern die Nutzbarmachung der Natur im Interesse der Öffentlichkeit. Dieses neue Ziel ist bei Bacon mehr als ausschlaggebend und wird im Laufe der Betrachtung noch eine große Rolle spielen.

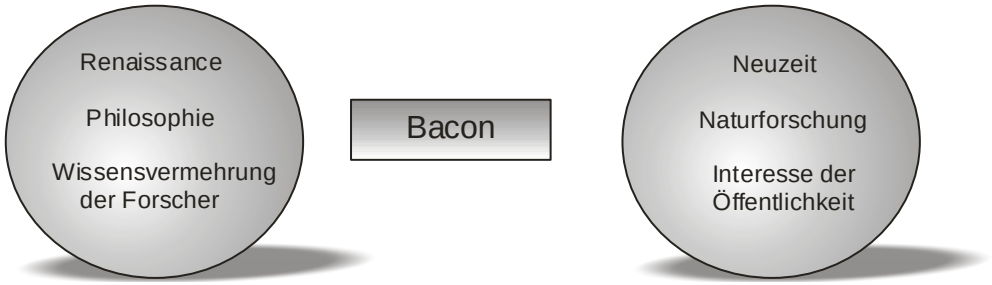


Abb. 36: Bacon zwischen Renaissance und Neuzeit

Doch auch wenn Bacon in solcher Weise gewissermaßen zwischen den Stühlen sitzt, kann man ihn doch einer ganz anderen Gruppe zuordnen, nämlich der der Aristoteles-Kritiker. Schon allein die Wahl der Titel seiner wichtigsten Werke zeigt deutlich, in welcher Weise er zu Aristoteles stand. Für die folgende Betrachtung sind vor allem zwei Werke fundamental. Zum einen das Neue Organum, im Gegensatz zu Aristoteles` Organum. Zum anderen Neu-Atlantis, wieder in Anlehnung zu dem von Aristoteles geschriebenen Werk Atlantis.[99-101] Bacon scheint also in Opposition zu seinem großen, antiken Vordenker treten zu wollen. Er distanziert sich von ihm. Seiner Meinung nach solle man sich nicht von der Antike verzaubern lassen.[42] Daher übt Bacon immer wieder Kritik an den „Universalphilosophen“. So heißt es zum Beispiel im 54 Aphorismus des ersten Teilbandes im Neuen Organon:

„…Dies ist ganz klar bei Aristoteles, der seine Naturphilosophie völlig seiner Logik ausliefert und sie so fast unbrauchbar und streitsüchtig macht…“

Aber nicht nur Aristoteles geriet vor Bacons Gericht, wie der 96. Aphorismus des gleichen Werkes zeigt:

„…Eine reine Naturphilosophie findet man bisher nicht, sie ist angesteckt und verdorben: in der Schule des Aristoteles durch die Logik, in der Schule Platons durch die natürliche Theologie, in der zweiten Schule Platons, des Proklos und anderer, durch die Mathematik, diese soll die

Naturphilosophie eingrenzen, nicht aber befruchten und schöpferisch gestalten. Von einer reinen und unvermengten Naturphilosophie ist Besseres zu erwarten.…“

Bacon übt also mehr als maßvolle Kritik an der vorherrschenden Wissenschaft.[102] Die Beschuldigungen, die er gegen Aristoteles, Platon und andere vorbringt sind schwer. Um aber entscheiden zu können, inwieweit man Bacons Urteil über die alten Philosophen trauen kann, ist es sinnvoll zunächst einen Blick auf seine eigene Lehre zu werfen.
Selbstverständlich führt auch Bacon eine Einteilung der Wissenschaften ein. Abbildung 37 zeigt ein Schema seiner Vorstellung von Wissenschaft.[103]

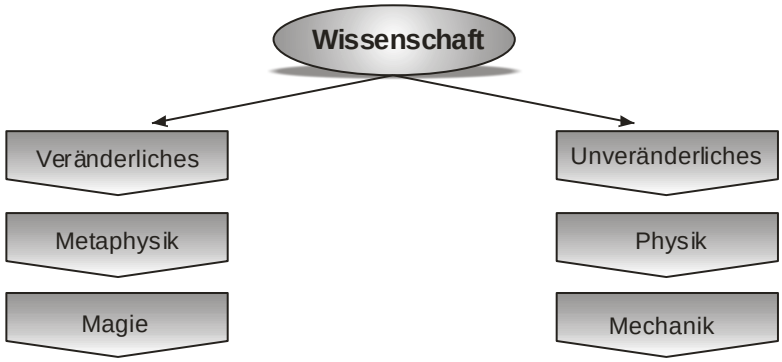


Abb. 37: Einteilung der Wissenschaft nach Bacon

Zunächst nimmt er eine Unterscheidung von Veränderlichem und Unveränderlichem vor. In gewisser Weise erinnert das an Aristoteles. Doch bei genauerer Betrachtung wird klar, dass Bacon hier etwas ganz anderes tat. So werden Metaphysik und Physik strikt getrennt. Zuletzt ordnet Bacon die Mechanik dem Unveränderlichen und die Magie dem Veränderlichen zu. Es wird nicht klar, warum er diese Einteilung vornimmt. Es scheint fast zufällig gewählt, weil man auch nicht genau weiß, was Bacon eigentlich mit Veränderlichem und Unveränderlichem meint. Bei Aristoteles sah die Einteilung ganz anders aus. Das dualistische Weltbild lag zugrunde. Er teilte die Welt in sublunar und supralunar. Bacon jedoch bezieht seine Einteilung nicht auf derart räumliche Bereiche, darum ist es auch schwer nachzuvollziehen, warum er die Disziplinen in einer solchen Weise einteilt. Interessant ist jedoch, dass er der Magie anscheinend den gleichen Raum zumisst, wie der Mechanik. Dabei kommt das zum Tragen, was Bacon so verwirrend macht. Auf der einen Seite arbeitet er methodische Neuheiten heraus, wie noch gezeigt werden wird. Auf der anderen Seite jedoch spielt die Magie bei ihm noch eine wichtige Rolle. Man könnte sagen, sie sei in Gewisser Weise ein Relikt. Ontologisch kann Bacon den neuen Weg nicht mitgehen und bleibt in der Magie hängen. Das führt zu einer Ambivalenz im Wissenschaftsbegriff, die später noch weiter erläutert werden wird.
Bacon beschäftigte sich jedoch auch mit konkreteren Phänomenen, als nur mit einer bloßen theoretischen Einteilung. Auch wenn Liebig später der Ansicht ist, Bacon habe einiges von seinen Vordenkern geklaut, so kann man ihn in gewisser Weise als „Teilzeitchemiker“ bezeichnen.[102] Er

beobachtet Phänomene und Eigenschaften von Stoffen, beschreibt Größen wie die Dichte, Härte, Fäulnis oder den Glanz von Edelsteinen. Er beschäftigte sich mit Lösungs- und Verbrennungsversuchen. Solche Reaktionen haben bis heute ihre Wichtigkeit nicht verloren. Sei es im Labor, wenn man sich fragen muss, zu welchem Lösemittel man greifen soll, oder sei es in der Industrie, in der mit den Verbrennungsprodukten von allerlei Reaktionen gehandelt wird. Nicht zuletzt gleicht unsere Atmung einer Verbrennungsreaktion. Bacon war schon zu seiner Zeit klar, dass bei einer Verbrennung noch mehr Produkte entstehen, als die, die im festen Zustand zurück bleiben. So protokolierte er die Änderung des Gewichts bei Verbrennungen und Lösungsversuchen. Außerdem lernte er schnell, dass sich verschiedenen Stoffe oder auch verschiedene Mengen von Stoffen unterschiedlich gut in Wasser lösen. Selbstverständlich widmete sich Bacon auch dem in der Alchemie vorrangigem Ziel, dem Gold machen. Sein Rezept dazu hört sich wie folgt an:

„…Sechs Uriome der Reifung müssen im Auge behalten werden; das erste Uriom sei eine mäßige Hitze, das zweite, dass der Metallspirit lebendig gemacht und gelöst werden müsse, das dritte, dass die Spirits nicht sprungweise, sondern gleichförmig zu verbreiten seien, das vierte, dass kein Spirit entweichen dürfe, das fünfte bei der Wahl des Metalls, das sechste endlich, dass man sich Zeit dazu nehme [….] Man soll einen Ofen bauen und für mäßige Hitze sorgen; als Material Silber wählen, dazu 1/10 Quecksilber und 1/12 Salpeter setzten; sechs Monate lang soll die Operation anhalten und ein wenig Öl von Zeit zu Zeit wird das Metall dicht und geschmeidig machen…“

Bacon machte jedoch nicht nur chemischen Experimente, er wendete sich auch der Physik zu. Wie auch schon Aristoteles beschäftigte er sich mit dem freien Fall, mit dem Phänomen Wärme und mit allgemeinen Bewegungen.[102]
Das Bacon eine Versuchsanleitung zur Goldherstellung heraus gab, erweckt den Eindruck, er legen großen Wert auf das Experiment an sich. Wenn man sich jedoch intensiv mit Bacons Lehre auseinander setzt, dann stellt man fest, dass es nicht das Experiment war, dass er am höchsten schätzte, sondern die Empirie.[20, 102] Zusammen mit der Theorie führe empirische Arbeit zur Wahrheit, wie in Abbildung 38 gezeigt. Das reine Sammeln von empirischen Befunden sei mit der Arbeit von Ameisen zu vergleichen. Die Spinne hingegen webe ein Netz aus sich selbst heraus, sozusagen ohne weiteres Material. Dieses Vorgehen sei der theoretischen Arbeit gleich. Doch nur das zusammenführen beider Bereiche sei der Weg zur Wahrheit, zu vergleichen mit Bienen, die Nektar von den Blüten sammeln, also empirische Befunde einholen, und zu Honig umwandeln, als theoretische Arbeit leisten.

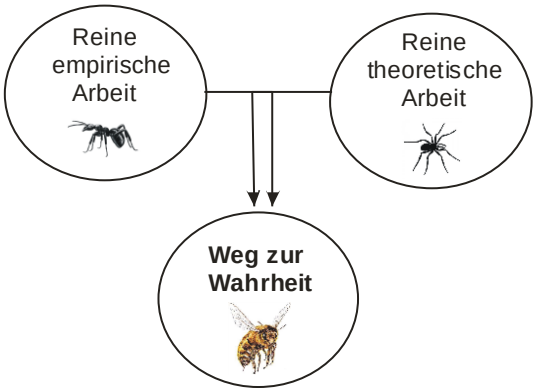


Abb. 38: Rolle von Empirie und Theorie

Bacons Meinung nach ist ein Experiment immer isoliert und trägt nicht zur Verallgemeinerung bei. Er kann noch nicht daran glauben, dass Hypothesen in gewisser Weise erfunden sind.[42] Für Bacon führt der Weg zur Quantität nicht über das Experiment, wie bei Galilei. Er entwickelt eine ihm ganz eigene Methode. Während Aristoteles deduktiv arbeitete, also mit Hilfe der Logik Schlussfolgerungen zog, zog Bacon die induktive Methode vor. Das soll natürlich nicht heißen, dass Aristoteles nicht empirisch arbeitete. Aristoteles Methode setzte sich in gewisser Weise aus Logik und Empirie zusammen, nur dass empirische Befunde nicht mit der Theorie verknüpft wurden. Bacons induktive Methode beschreibt daher einen ganz anderen Vorgang, als das empirische Arbeiten des Aristoteles. Er nahm Beobachtungen von Einzelheiten zu Hilfe und zog daraus einen allgemeinen Schluss. Die Vorgehensweise, die Bacon dabei entwickelte, zeichnet seine Lehre in besonderer Weise aus. Abbildung 39 zeigt den Fluss der durchlaufe werden muss, um zur Erkenntnis zu kommen.[20, 99, 100]

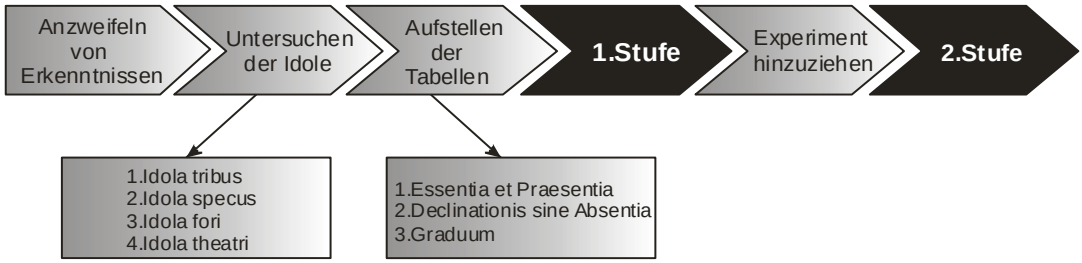


Abb. 39: Die induktive Methode nach Bacon

Am Anfang steht das Anzweifeln von Erkenntnissen. Bacon lässt die pure Niederschrift von Aristoteles nicht mehr als Beweis für die Richtigkeit einer Sache gelten. Damit lehnt er wie auch Galilei den Lehraristotelismus ab. Hat man den Zweifel an einer Erkenntnis zugelassen, werden Faktoren untersucht, die den klaren Blick trüben. Bacon nennt diese Faktoren Trugbilder oder auch Idole. Schon allein die Verwendung von Idolen scheint etwas okkult. Hier kommen die magischen Reste von Bacon wieder zum Ausdruckt. Nach Bacon gibt es vier Idole. Die idola tribus sind solche Trugbilder, die durch unsere Erwartungshaltung induziert werden. Der Mensch suche immer nach dem, was er erwarte. Aristoteles habe Gleichmäßigkeit erwartet, also war er der Überzeugung, die

Planetenbahnen seien kreisförmig. Bacon rät, dass alles skeptisch machen solle, was Wohlgefallen hervorrufe. Das zweite Trugbild sind die idola spectus. Sie gehen von unserer eigenen Persönlichkeit aus. Je nachdem mit welchen Eigenschaften ein Mensch angelegt ist, ob er etwa eher Theoretiker oder Praktiker ist. Die idola fori hingegen entstehen im täglichen Umgang mit Menschen jeder Art. Sprache wird im Umgangsgebrauch oft anders verwendet als in der Wissenschaft. Das ist ein Phänomen, was heute auch nicht unbekannt ist. Man nehmen nur einmal das Beispiel, dass 80 kg nicht das Gewicht eines Menschen sein könnten, sondern seine Masse. Zuletzt bleiben die idola theatri, die man sich im Studium angeeignet hat. Solche Trugbilder beschwört nach Bacon zum Beispiel die Lehre des Aristoteles herauf. Er setzte Dogmen fest, junge Leute lernten sie und würde somit in ihrer Urteilsfähigkeit beeinflusst.
Nachdem man also solche Trugbilder ausgeschaltet hat, kommt man schließlich zu einem weiteren sehr umfangreichen Schritt, nämlich dem Aufstellen einer Tabelle. Darin wird das zu untersuchende Phänomen in viele Einzelteile auseinander genommen. Zur besseren Veranschaulichung soll das in Tabelle 1 dargestellte Beispiel dienen.

Tab. 1: Beispiel einer typischen Bacon`schen Tabelle

Essentia et Praesentia	Graduum	Delinationis sive Absentia
- Sonne - Feuer - Reibung - …..	- Zunahme von tierischer Wärme - Abhängigkeit der Wärme vom Sonnenstand - ……	- Mond - Wasser - Wind - ….

Mit Hilfe einer solchen Tabelle konnten alle empirischen Beobachtungen zu einem bestimmten physikalischen Phänomen aufgelistet werden. Bei dem gezeigten Beispiel handelt es sich um einen Auszug um Beobachtungen zur physikalischen Größe „Wärme“. Im linken Teil findet man Beobachtungen, die direkt mit Wärme verknüpft werden, wohingegen rechts aufgelistet ist, was nicht warm ist. In der Mitte findet man Beispiele für Temperaturveränderungen. Eine solche Auflistung wird auch plus-minus-Tabelle genannt. Sammelt man genügend empirische Befunde, kann man so einen Zusammenhang zwischen der Wärme als Phänomen und ihrem Auftreten folgern. Bacon schlussfolgerte daraus, dass Wärme und Bewegung in einem konkreten Zusammenhang stehen.[20] Bacons Anliegen bei einer solchen empirischen Suche ist die Orientierung an den negativen Fällen. Er erkannte richtig, dass man eine Sache vielfach beweisen kann, aber eine einzige Falsifizierung mache sie zunichte. Und genauso wird in der heutigen Wissenschaft mit Ergebnissen umgegangen. Alles gilt als Hypothese und es wird so lange akzeptiert, bis es widerlegt wird.[42] Die Widerlegung selbst gilt nie als ausgeschlossen.
Nachdem die Arbeit mit den Tabellen abgeschlossen ist, stellt Bacon also eine Hypothese auf, die man als Ergebnis erster Stufe bezeichnet. Dieses wird durch das Experiment überprüft. Kann man durch das Hinzuziehen des Experiments eine allgemeine Gesetzmäßigkeit aufstellen oder die Hypothese verifizieren, kommt man zu Ergebnissen der 2. Stufe.

Betrachtet man Bacons induktive Methode im Gesamtbild, fällt sofort auf, dass diese Vorgehensweise wohl nicht mit allen Phänomenen zum Erfolg führen würde. Die Kategorisierung von Beobachtungen und das Sammeln von empirischen Befunden wird so stark in den Vordergrund gestellt, dass eine Anwendung fast unmöglich erscheint. Zwar bietet die gezeigte Tabelle einen kurzen Überblick, Bacons originale Tabelle sah jedoch etwas anders aus. Er fand zum Beispiel 32 Punkte, in denen die Wärme fehlt.[99] Doch für Bacon war es unumstritten. Er war davon überzeugt, dass man Gesetz nur an der Natur ablesen könne. Das unterscheidet ihn maßgeblich von Galilei, der sich an die Mathematisierung der Natur hielt.[20]

Doch welches Ziel verfolgte Bacon mit seiner Methode? Bacon scheint in diesem Zusammenhang ambivalenter Natur zu sein. Seine induktive Methode lässt darauf schließen, er sei an der theoretischen Erkenntnis interessiert, er wolle schlichtweg Naturgesetzte auffinden. Doch das war wohl nicht Bacons eigentliches Ziel. Ihm ging es um die Nutzbarmachung der Natur. Es ging nicht um das Wissen, um des Wissens willen. Es ging nicht darum Gottes Willen zu erkunden, diese religiöse Motivation findet man bei Bacon nicht wieder. Es ging ihm einzig und allein um das Wohlergehen des Menschen.[20, 102] Schon Galilei bereitet mit der angestrebten *vita activa* der Nutzbarmachung der Natur den Weg. Und diese nutzbare Natur ist ganz eng verbunden mit Macht. Nicht umsonst rechnet man Bacon den Satz „Wissen ist Macht“ zu, auch wenn es im zweiten Teil seines Neuen Organon im vierten Aphorismus heißt: „Wenn auch die Wege zur Macht und zur menschlichen Wissenschaft aufs engste miteinander verbunden und fast gleich sind…“.[99] Das Thema Macht hat auch eine wichtige Bedeutung bei der Motivation der Wissenschaftler zu neuen Forschungserkenntnissen zu kommen. In seinem 129. Aphorismus im ersten Teil führt Bacon drei verschiedene Motive eines Wissenschaftlers an:[100]

1. Machtvermehrung im Vaterland
2. Machtvermehrung für das Vaterland
3. Machtvermehrung über die Natur

Laut Bacon ist es das dritte Motiv, das am edelsten ist. Auf diesen Punkt wird an späterer Stelle noch einmal eingegangen, wenn es darum geht, warum die Natur nutzbar gemacht werden soll und welchen Stellenwert der Wissenschaftler in einer Gesellschaft hat. Dabei stellt sich zuletzt auch die Frage, warum es Bacon um die Nutzbarmachung der Natur ging. Er war nicht nur Philosoph (oder Wissenschaftler) sondern auch Staatsmann. Sein Novum Organum erschien 1620. Zu dieser Zeit war er Lord High Chancellor, was dem höchsten Staatsamtes England entsprach. Bacon lebte also ein politisches Leben. Wann immer er eine Gelegenheit dafür fand, versuchte er die Naturkenntnisse in die nationale oder internationale Politik mit einzubinden.[104] Vielleicht muss man Bacons Lehre auch unter diesem Gesichtspunt verstehen. Bacon war sicherlich für viele Menschen verantwortlich. Er wünschte sich mit Sicherheit die Nutzbarmachung für technische Errungenschaften nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis. Die Wissenschaft sollte verstaatlicht werden, was einer Instrumentalisierung der Wissenschaft gleichkäme. Heute spricht man in diesem Kontext von Ökonomisierung.

Der beste Beweis dafür, was Bacon mit nutzbarem Wissen meint, das mit Macht gleichzusetzten ist, wird in seinem weiteren Werk Neu-Atlantis sichtbar.[101] Dort stellt er eine erdachte Gesellschaft vor, die so ganz anders aufgebaut ist, wie die uns bekannte. Auf einer Insel lebt ein Volk mit völlig anderen Wertvorstellungen. Die wichtigste Einrichtung in dieser Gesellschaft ist das Haus Salomo. Es gleicht einer wissenschaftlichen Fakultät.

Neben klassischen Gebieten, wie der Mathematik, findet man im Haus Salomon viele weitere wichtige Forschungseinrichtungen. Man sieht deutlich, dass sich etwas verändert zu haben scheint. Es ist nicht mehr die Sache an sich, die einen Bereich zur Wissenschaft macht, sondern es ist die methodische Vorgehensweise, die wissenschaftlich ist. Die Bacon`sche Induktion könnte also auf alles möglich angewendet werden, vielleicht von Chemie, über Medizin bis hin zur Religion. Nur der Umgang mit der Materie entscheidet, ob es sich um Wissenschaft handelt. Dieser Gedanke ist in gewisser Weise revolutionär, denn er drück aus, was man heute noch immer denkt. Man kann zu Hause Bibel lesen oder sich an der Universität mit Theologie beschäftigen. Die Materie bleibt die gleiche, aber das Instrument ändert sich und plötzlich handelt es sich um Wissenschaft. Man kann im Garten Kohl anpflanzen oder welchen in Gewächshäusern züchten, seinen Bestand erfassen und vieles mehr. Das eine ist in gewisser Weise Hobby, das andere Wissenschaft. Wichtig ist also: Die Methode macht die Wissenschaft nicht die Materie.

Desweiteren regt die Darstellung der Wissenschaftler in Neu-Atlantis zum Nachdenken an. Der Wissenschaftler steht im Dienst der Wohlfahrt. Er wird als Berühmtheit behandelt und seine Arbeit wird entsprechend verehrt. Um neue Erkenntnisse zu gewinnen, bleiben die Einwohner jedoch nicht ausschließlich auf ihrer Insel. Sie gehen auf die Suche. Hier wird Bacons Liebe zur Empirie erneut sichtbar. Abbildung 40 zeigt den Weg der Wissenschaftler, bis sie zu neuen Erkenntnissen gelang sind. Wie man sieht gibt es acht verschiedene Arten von Wissenschaftlern, die schwarz unterlegt sind. Die ersten vier Gruppen in der obersten Reihe werden jeweils zu dritt von der Insel geschickt und bekommen gesonderte Aufgaben. So ist es zum Beispiel die Aufgabe der Ausbeuter Schriften einzusehen, die Jäger sammeln Wissen über Versuche, die bereits gemacht wurden woraufhin die Schatzgräber neue Versuche machen. Der Ordner protokoliert anschließend die Ergebnisse. Nachdem die Wissenschaftler wieder nach Hause zurück gekehrt sind, kontrollieren und filtern die Wohltäter die Ergebnisse. Die Leuchten regen zu neuen Versuchen an, die dann von den Pfropfern durchgeführt werden. Diese Arbeitsschritte können beliebt oft durchgeführt werden, bis schließlich der Erklärer der Natur eine allgemeine Regel aufstellt.

Bei der Vorgehensweise fällt auf, dass man heute im Großen und Ganzen auch nicht anders vorgeht, um zu einer bestimmten Erkenntnis zu gelangen. In den weißen Kästen sind die Arbeitsschritte aufgeführt, die man durchgehen müsste, um mehr über einen Cu-Oxo-Komplex zu erfahren, der bisher in chemischen Labor noch nicht in stabiler Form synthetisiert werden konnte. Die Synthese entspricht also einem aktuellen Forschungsziel und wird deshalb hier als Beispiel herangezogen. Am Anfang steht die Literaturrecherche, die Sichtung, welche Versuche schon gemacht wurden und das Durchführen neuer Versuche. Das Führen eines Laborjournals ist natürlich hierbei

selbstverständlich. Nachdem man nun die ersten Versuche durchgeführt hat, kann man die Ergebnisse interpretieren und eventuell filtern, was unnötig war, oder zu keinem Ergebnis führt. Nach der theoretischen Modifizierung folg das Durchführen neuer Versuche. Wie auch schon die Wissenschaftler die Bacon erschuf, kann auch ein Chemiker im Labor diesen Schritt beliebig oft wiederholen. Vielleicht würde man das in der Industrie Prozessoptimierung nennen. Schlussendlich kann man allgemeine Aussagen treffen, zum Beispiel über die Wahl des Lösemittels oder des Anions. Diese Arbeitsschritte scheinen doch viel anwendbarer zu sein, als die pure induktive Methode. Auch wenn hier das Experiment einen großen Platz einnimmt, beginnt doch alles in gewisser Weise mit Empirie, mit dem sammeln von Informationen.

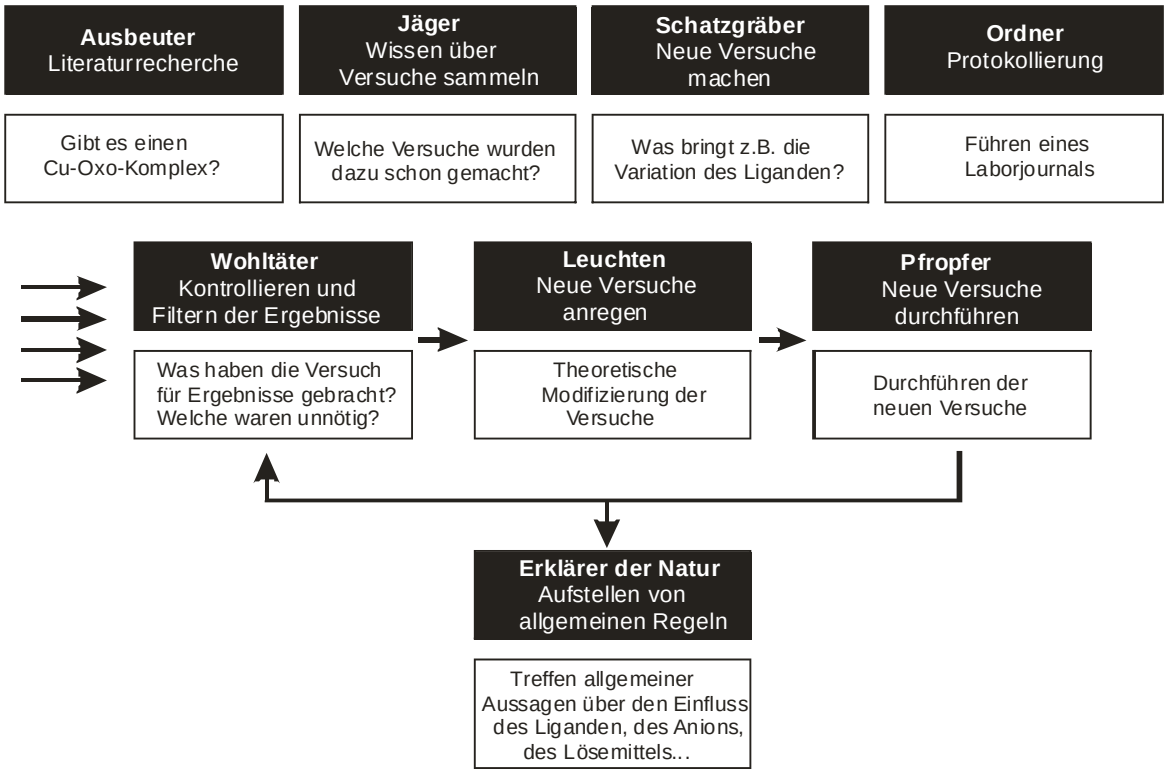


Abb. 40: Verschiedene Arten von Wissenschaftlern

Bacon erkannte, wie man in Abbildung 40 deutlich sehen konnte, dass die Wissenschaft eine hohe Relevanz für den Alltag hatte. Für ihn war wissenschaftlicher Fortschritt automatisch positiv. Er wollte die Gesetzte der Natur zu seinen Gunsten nutzen und neue Eigenschaften finden.[42] Außerdem erkannte er auch, dass der Wissenschaftler an sich eine größere Rolle zu spielen hat, als vereinsamt in seinem Labor Fortschritte zu erzielen. Diese Anonymität der Wissenschaftler, die für Bacon nicht erstrebenswert war, hat natürlich zwei Seiten. Einerseits wurden die Wissenschaftler von der Bevölkerung für ihre Leistungen verehrt, ihnen wurden Stadtbilder erbaut. Andererseits machte Bacon auch klar, dass die Wissenschaftler für ihre Erfindungen verantwortlich sind. Und damit spricht er einen heute erst recht sensiblen Punkt an. Wie viel Verantwortung trägt der Wissenschaftler, wenn seine Erfindungen wie auch immer genutzt werden? Wie viel Verantwortung

trägt etwa ein Otto Hahn, der die Kernspaltung des Urans entdeckte, wenn Politiker einen Nuklearkrieg ausfechten?
Die Frage ist also: Wie viel Freiheit darf ein Wissenschaftler haben, damit seine Arbeit kreativ und fruchtbar ist oder wie viel Aufsicht braucht er vom Staat, ohne dass er zum Dienstleister wird. Und das ist Wissenschaftsethik. An Bacon sieht man, dass sich eine Reform der Gesellschaft auf die Wissenschaft auswirkt. Das materielle Wohl des Menschen wird betont und die Philosophie, oder die Wissenschaft, sind dazu da, diesen Zweck zu erfüllen.[104] Dabei bleibt nicht außen vor, dass sich eine Verantwortung auftut, wenn Wissenschaft allen zugänglich gemacht werden soll. Die Frage ist nur, von welcher Art von Verantwortung Bacon spricht. Da er das Thema Verantwortung in seinem Werk New Atlantis entfaltet, gestaltet sich eine Übertragung in die reale Welt schwer, da die von Bacon gedachte Welt allzu konstruiert erscheint. Zum einen kann man Bacons Verantwortungsbegriff zu verstehen, dass der Wissenschaftler in gewisser Weise für sein Werk wie ein Schöpfer für seine Schöpfung verantwortlich zu machen ist. Einerseits trägt der Wissenschaftler dann die Verantwortung für die „Funktionstüchtigkeit“ seiner Erfindung und das in zweifacher Weise. Heute ist das nicht anders: man möchte kein Gerät kaufen, dass nicht hält was es verspricht, also schlicht weg funktionsunfähig ist. Auf der anderen Seite muss man sich als Nutzer darauf verlassen können, dass ein Gerät keinen Schaden anrichten kann. Die Frage bleibt, ob der Wissenschaftler auch die Verantwortung für die Folgen seiner Schöpfung trägt. Heute sind die Verantwortlichkeiten sicherlich anders verteilt als auf Bacons Insel. Bacon postulierte mit Neu-Atlantis die Verantwortung des Wissenschaftlers für seine Forschung. Dabei war ihm bewusst, dass er damit dem Wissenschaftler etwas Wichtiges abverlangt. Darum beschreibt er beispielsweise, wie sich ein Wissenschaftler verhalten soll, wenn es um seine Forschung geht. Es solle nur bestimmte Ergebnisse veröffentlichen. Nicht alles solle der Gemeinschaft zugänglich gemacht werden.[101] In seinem 129 Aphorismus des ersten Teilbandes erklärt Bacon genau, warum es sinnvoll ist, die Wissenschaft und damit die Natur nutzbar zu machen:[100]

„…Die Wohltaten der Erfindung können sich über das gesamte Menschengeschlecht erstrecken, die politischen nur auf Menschen an bestimmten Orten. Auch dauern diese nur einige Zeit, jene dagegen für alle Zeiten. Auch vollzieht sich eine Verbesserung des politischen Zustandes meistens nicht ohne Gewalt und Unrecht; aber die Erfindungen beglücken und schaffen Wohltaten, ohne jemandem ein Unrecht oder Leid zuzufügen…“

Auf den ersten Blick mag sich das ziemlich naiv anhören, aber man darf nicht vergessen, dass man heute aus einer anderen Perspektive urteilt. Heute wissen wir, dass Technik nicht gleichmäßig „über das gesamte Menschengeschlecht“ verteilt ist. Heute erleben wir, selbst in technisch versierten Gesellschaften Technik oft als Luxus. Genauso ist man sich im Klaren darüber, dass Erfindungen nicht nur „beglücken“ und „Wohltaten schaffen“ sondern sehr wohl „Unrecht und Leiden“ verursachen. Aber Bacon lebte in einer Zeit, in der die Natur noch in gewisser Weise bedrohlich auf

den Menschen wirkte, weil er sie nicht verstehen konnte. Darum ist der Gedanke die Natur nutzbar zu machen sowohl für Galilei als auch für Bacon revolutionär. Doch Bacon wollte die Natur nicht nur benutzen, er wollte auch Verantwortung übernehmen. Dadurch gewinnt die Situation um Bacons Lehre eine weitere Dimension. Heute ist vielleicht das Nutzen der Natur negativ belegt. Es erinnert an be-nutzen, vielleicht an zu unrecht benutzen. Aber Bacon hatte nicht das Interesse die Natur auszubeuten. Er wollte Verantwortung für sein Tun übernehmen. Dabei schwingt ein gewisser Respekt gegenüber der Natur mit. Heute wird der Verantwortungsbegriff in den aller meisten Fällen gebraucht, um klar zu machen, dass der Wissenschaftler eine Verantwortung gegenüber der Natur hat. Bacons Verantwortungsbegriff bezieht sich auch auf die Gesellschaft. Der Wissenschaftler trägt in gewisser Weise die Verantwortung für seine Erfindung, so wie ein Vater für sein Kind. Mit Bacons Niederschrift über Neu-Atlantis wurde die Verantwortungsethik geboren. Bis jetzt wurde Ethik damit in Verbindung gebracht, was der Mensch zu seinem Glück oder zu einem guten Leben tun kann. Wenn aber die Wissenschaft und die Erfindungen Teil des menschlichen Lebens werden, dann muss die Ethik auch eine Antwort darauf parat halten, was mit Erfindungen und Wissenschaft geschieht. Bacon geht das Problem von der Seite des Wissenschaftlers an. Die Einzelverantwortungen „des Endnutzers“ bleibt weitestgehend unbeachtet.

Zwar hatte Bacon noch nicht erkannt, dass Fortschritt allein um des Fortschritts willen nicht zum richtigen Ziel führt, aber er sah ein, dass es eine Verantwortung gab, die getragen werden musste. Er legte seinen Wissenschaftlern Regeln auf, die dazu dienen sollten die Erfindungen zu kontrollieren. Er verknüpfte die Ethik mit der Wissenschaft und zwar direkt über den Begriff der Verantwortung. Die Verwendung von Wissenschaft im täglichen Leben bedeutet Verantwortung. Und das tägliche Leben ist Sache der Ethik. Da ist es ganz logisch Verantwortung für Wissenschaft und Ethik auf diese Weise zu verknüpfen. Die Ethik einer Wissenschaft war zum Beispiel bei Platon noch nicht nötig, da das tägliche Leben, die Anwendung von Wissenschaft im Alltag, nicht sein Ziel war. Bacon hingegen sah den Nutzen der Wissenschaft ganz praktisch. Und das verlangte nach einer Ethik, die Verantwortung für Wissenschaft steuert. Eine Verantwortungsethik und eine Wissenschaftsethik. Dagegen erscheint Galileis Vorgehensweise tatsächlich fast als religiös. Bacon war selbst auch religiös, aber er verknüpfte die Wissenschaft nicht mit der Religion, so wie das Galilei zum Beispiel tat, wenn er die Mathematik als Gottes Werkzeug ansah. Religion und Wissenschaft waren für Bacon zwei getrennte Bereiche, was wohl auch der Grund ist, warum man in seinen Schriften nichts Konkretes über die Theologie findet. Und damit schlug er eine Schneise zwischen Wissenschaft und Religion ohne die Ethik von der Wissenschaft zu trennen. Die Verantwortung gegenüber der Wissenschaft liegt in den Händen der Ethik und ist nicht mit der Theologie verknüpft.
Wissenschaftsgeschichtlich ist Bacon vor allem deswegen interessant, weil er an der Schwelle zwischen Magie und Empirie steht. Auf der einen Seite handelt Bacon methodisch modern, wohingegen er in seiner Ontologie noch der Magie verfallen ist. Er vereint somit alte und neue

Elemente. Im Verlaufe der Betrachtung wird man sehen, dass diese Trennung zur Vergangenheit bei Descartes strikter gezogen wurde, wohingegen sie bei Newton wieder auftaucht.

2.2.3 Das Wissenschaftssystem nach Descartes

Es ist interessant zu sehen, welche unterschiedlichen Ansätze die drei Zeitgenossen Galilei, Bacon und Descartes liefern. Mit Descartes nähert man sich einem weiteren wichtigen Meilenstein in der Geschichte der Entwicklung der Wissenschaften. Seit Descartes wird die Wissenschaft vor allem mit dem abstrakten Denken in Verbindung gebracht.[42] Er gilt als Begründer der Geometrie und war Verfechter der Atomistik.[105, 106] Wie auch schon Galilei wollte Descartes die Natur berechenbar machen. Er wollte sie mathematisieren und damit quantifizieren. Aber im Gegensatz zu ihm war es Descartes, der die Prinzipien einer neuen Wissenschaft konkret formulierte.[107, 108] Er geht aber nicht nur einen Schritt weiter als Galilei, sondern auch als Bacon. Descartes verstand sich selbst als Wissenschaftler und nicht als Philosoph. Bacon hingegen beeinflusste zwar die Methodologie der Philosophie, aber für die Naturwissenschaft haben Descartes` Ansätze einen höheren Wert. Was bei Bacon noch völlig anwendungsfremd daher kommt, ist bei Descartes umsetzbar.[42]

Was die drei großen Denker jedoch vereint, ist das Abgehen vom Aristotelismus. Auch Descartes kreierte die Welt ganz anders, als die Aristoteliker es taten. Die Welt des Aristoteles war durch Sinneswahrnehmungen und damit durch Qualitäten bestimmt. Descartes hingegen dachte die Welt mathematisch, geometrisch, also quantitativ.[107, 108]

Bevor nun auf die kartesische Methode, auf den Dualismus von Körper und Geist und auf die Ethik eingegangen wird, soll ein Blick auf den Stellenwert der Physik in Descartes` Wissenschaft geworfen werden. Descartes postulierte die physikalische Einheit der Natur. Seine ganze Physik besteht aus Körper, die mechanisch miteinander verknüpft sind und so untereinander wirken.[105, 109] Die Wirkung der Körper untereinander wird erst durch die Bewegung möglich. Allerdings handel es sich hierbei nicht um eine ungeordnete, chaotische Bewegung, sondern um eine Dynamik, die nach festen Regeln abläuft. An dieser Stelle wird der Begriff der Naturgesetze wichtig, der erst durch Descartes aufkam. Der konkrete Begriff des Gesetzes wird erst von Descartes verwendet. Weder Galilei noch Bacon greifen auf ihn zurück. Descartes Naturbegriff ist dabei in Anlehnung an die von Gott gegebenen Naturgesetze zu verstehen, wie das folgende Zitat aus Descartes Werk „Über die Methoden des richtigen Vernunftgebrauchs“ zeigt:[110, 111]

„…Wenn er also die Welt auch im Anfang nur die Form eines Chaos verliehen hätte, vorausgesetzt, er hat ihr Naturgesetze gegeben und leiht ihr seinen Beistand, damit sie in ihrer gewohnten Weise wirkt, so kann man annehmen, ohne dem Wunder der Schöpfung Eintrag zu tun, dass sich allein dadurch alle rein materiellen Dinge im Laufe der Zeit in die Verfassung hätten bringen können, in der wir sie gegenwärtig sehen….“

Die Ausformulierung konkreter Naturgesetze leistete Descartes in seinem später veröffentlichen Werk „Die Welt oder Abhandlung über das Licht“. Darin stellte er drei grundlegende physikalische Gesetze auf:[20, 109]

- Ein Körper, auf dem keine Kraft ausgewirkt wird, bleibt in Ruhe. Wenn ein Körper aber in Bewegung ist, dann setzt er seine Bewegung so lange fort, bis er auf etwas anderes stößt.
- Jeder Körper, der sich bewegt, folgt geradlinig seiner Bahn
- Wenn ein Körper mit einem anderen zusammenstößt, dann hängt das Resultat davon ab, welchen Wiederstand die Körper aufbringen (also welcher von beiden die größere Masse hat)

Im Vergleich zu Galilei ist besonders das zweite Gesetzt interessant. Descartes postulierte, dass man eine Kraft benötige, um einen Körper auf einer Kreisbahn zu halten. Galilei hingegen behauptete auch noch später, dass die Kreisbahn naturgegeben sei. Wie in Abschnitt 2.2.1 gesagt, lehnte er auch die von Kepler postulierte Ellipse ab.

Grundsätzlich sieht man aber an den Regeln sofort, welchen Stellenwert die Bewegung für Descartes einnimmt. Er wollte mit Hilfe der Bewegung Grundgesetze formulieren, um damit eine Deutung aller weltlichen Erscheinungen zu geben. Allerdings war dieses Vorhaben mehr kühn als erfolgreich. Heute weiß man, dass man nur mit Hilfe einer einzigen physikalischen Größe nicht hoffen kann komplette Systeme zu beschrieben. Das Weltgeschehen ist wohl zu kompliziert um auf die Bewegung reduziert zu werden. Trotz allem gewinnen die Stoßprozesse bei Descartes an Bedeutung und die Bewegung bleibt auch nicht das einzige Merkmal, dass bei Descartes eine entscheidende Rolle zu spielen hat. Für ihn gibt es nur zwei Grundgrößen, nämlich die Bewegung einerseits und die Ausdehnung andereseits.[20] Unter Ausdehnung versteht Descartes jedoch etwas ganz besonderes. Damit kommt man auf den eigentlichen Schwerpunkt der kartesischen Physik zu sprechen, nämlich der Gleichsetzung von Materie und Ausdehnung.[17, 105, 108] Für Descartes entsteht Ausdehnung nur dann, wenn sie mit Materie gefüllt ist. Raum und Materie sind für ihn gleichbedeutend. Am besten lässt sich dieser Sachverhalt an den Problemen veranschaulichen, die dieses strikte Paradigma mit sich bringt. Abbildung 41 zeigt schematisch, um welche Probleme es sich handelt.[108] Zum einen bedeutet das Identisch sein von Materie und Raum die Negierung des Vakuums. Laut Descartes gibt es nur da Raum, wo es auch Materie gibt. Es gibt also keinen Raum an sich, den man mit etwas füllen könnte. Jeder Raum ist von sich aus schon gefüllt, was ihn erst zu einem Raum macht. Das heißt im eigentlichen Sinne sogar, dass es gar keinen Raum gibt. Es gibt nur Materie, der Begriff Raum ist überflüssig, weil er mit der Materie zusammen fällt. Daraus resultiert auch die Endlosigkeit der Welt. Hätte das Universum ein Ende, dann müsste man sich fragen, was nach diesem Ende kommt. Da Descartes den leeren Raum ausschließt, muss alles mit Materie gefüllt sein. Es darf keine Grenze der Materie geben nach der nur noch Raum ohne Materie kommt, denn das gibt es laut Descartes nicht. Darum nimmt er die Endlosigkeit der Welt an.

Diese Annahme hatte weitere weitreichende Konsequenzen. Die Endlosigkeit der Welt bedeutet nämlich zudem auch, dass es irrelevant ist, wie nah oder fern Sterne sind, denn alles ist durch

Materie miteinander verbunden. Obwohl Galilei mit Kopernikus den aristotelischen Dualismus ablehnte, konnte er ihn nicht besiegen. Erst Descartes machte den entscheidenden Schritt zur Abschaffung des Dualismus zwischen subluna und supraluna. Ab jetzt war es unwichtig aus was die irdischen und himmlischen Dinge bestanden, denn alles war nur noch als Ausdehnung charakterisiert. Das Universum wird so in seinen Gesetzen vereinheitlicht, denn die Materie des Himmels ist keine anderes als die Materie der Erde. Genau aus diesem Grund kann es auch nicht mehrere Welten geben. Das Universum dehnt sich in alle Ewigkeit aus. Alles ist miteinander verbunden, wie eine lange Kette, alles hängt miteinander zusammen. Das heißt also, dass zu unserer Welt der entfernteste Planet genauso gehört wie der Mond. Und wenn die Welt so wie wir sie kennen endlos ist, wo sollte dann eine andere Welt sein? Außerdem ist zu bemerkten, dass Descartes den Begriff *endlos* ganz bewusst für die Materie gebraucht. Unendlich nennt er nur Gott. Daran erkennt man, dass die Unendlichkeit im Kartesianismus grundsätzliche eine große Rolle spielt. Man könnte fast sagen, Descartes` Lehre beruhe sogar darauf. Er unterscheidet also zwischen dem endlosen und dem unendlichen. Das entspricht der potentiellen und tatsächlichen Vorstellung von „ohne Ende“. Die Welt ist also potentiell endlos, Gott hingegen ist tatsächlich unendlich. Die Endlosigkeit der Welt resultiert also daraus, dass sich die Vernunft und die Logik nichts anderes vorstellen können. Die Unendlichkeit von Gott hingegen resultiert aus seiner Vollkommenheit und man muss sie sich nicht vorstellen. Sie ist eine Tatsache. Allerdings bleibt fragwürdig, ob diese Argumentation so tragbar ist. Die Erkenntnis, dass die Welt endlos ist, resultiert nämlich nicht aus einer Einsicht in die Natur, sondern aus dem Grund, dass man es sich nicht anders vorstellen kann.[108]

Descartes postuliert also einen bis in alle Ewigkeit mit Materie gefüllten Raum. Sofort stellt sich die Frage, mit was der Raum gefüllt sein soll. Dafür liefert Descartes die Erklärung gleich mit, indem er drei verschiedene Elemente einführt, wie sie in Abbildung 41 zu sehen sind. Bei der Entstehung der Materie spielt wieder einmal die Bewegung eine große Rolle. Am Anfang gab es eine homogene Materie, die von Gott in Bewegung gebracht wird. Dabei entstehen zunächst Teilchen ungefähr gleicher Größe, die wiederum aneinander reiben. Auf diese Weise entstehen drei verschiedene Elemente.

Abb. 41: Die drei Elemente nach Descartes

Die Materie des ersten Elements ist die sogenannte subtile Materie, die alle Zwischenräume ausfüllt. Die runden Teilchen versteht Descartes als Materie des zweiten Elements. Aus diesen ersten beiden Elementen bestehen der flüssige Stoff des Himmels, die Sonne und die Fixsterne. Übrig bleibt die Materie des dritten Elements, die aus großen Teilchen verschiedener Form besteht. Sie bildet die Planeten und entstehen durch Konglomeraten der ersten beiden Elemente.[17]

Descartes postuliert also auch kleine Teilchen und nennt sie Atome, allerdings geht er nicht von deren Unteilbarkeit aus. Wären die Atome unteilbar, würde man Gott der Möglichkeit berauben, etwas zu teilen. Da Gott vollkommen ist, ist das jedoch nicht möglich.[17]
In gewisser Weise erinnert der kartesische Ansatz in diesem Punkt der platonischen Theorie. Es verwundert nicht, dass ein Mathematiker wie Descartes eher in der Linie Platons zu finden ist, der selbst auch den Aufbau der Welt mithilfe der Mathematik beschrieb. Allerding macht die Erklärung von den drei Elementen dann stutzig, wenn man sie mit Galilei vergleich, dessen Theorien einen irgendwie gearteten fortschrittlicheren Eindruck machten. Fast fühlt man sich etwas in die Antike versetzt und möchte nicht glauben, das Descartes im 17. Jahrhundert gelebt hat. Er bleibt ganz in der Linie seiner Zeitgenossen, die ebenfalls den Lehraristotelismus ablehnten. Descartes verwendet keine Qualitäten um Dinge zu beschreiben, sondern reine Quantitäten.[108]
Zumindest nimmt Descartes die Sonne als Mittelpunkt des Universums an. Das Universum ist also bis zum Rand mit Materie erster Art gefüllt. Diese bewege sich in kreisförmigen Wirbeln. Einen dieser Wirbel stellt unser Sonnensystem dar, dessen Mittelpunkt die Sonne sei. Mit Hilfe dieser Wirbel erklärt Descartes auch die Schwerkraft auf der Erde. Der Wirbel unseres Sonnensystems führe die Erde mit sich, was bewirke, dass sich die Erde um sich selbst drehe. Durch diese Drehungen erzeuge die Erde einen neuen Wirbel, der sie umgibt. Dieser Wirbel ist der Grund dafür, dass sich die subtile Materie von der Erde weg bewege, sie wolle nach oben. Allerdings ist dort kein Platz mehr, da ja jeder Raum schon ausgefüllt ist. Durch das nach oben streben der subtilen Materie, strebe alles mit Schwere nach unten und mache so der subtilen Materie „Platz“ um nach oben zu kommen.

Allerdings ist es nicht nur Descartes Physik, die in gewisser Weise zum Staunen verleitet, sonder er gewinnt gerade dann an Wichtigkeit, wenn es um die Methode geht, die auf dem intuitiven-deduktiven Schließen beruht, also ganz im Gegensatz zur Bacons Induktion steht. Er leitet seine neue Methode von der Mathematik ab. Dabei sind folgende vier Grundregeln von besonderer Bedeutung:[105, 111]

1. Nehme nichts als wahr an, was nicht ganz sicher ist.
2. Zerlege schwierige Fragen in Einzelfragen.
3. Fange beim Einfachen an und arbeite dich stufenweise zum Schweren vor.
4. Gebe eine Aufzählung der Einzelheiten und betrachte die Gesamtheit.

Diese methodischen Regeln machen sofort einen überaus vernünftigen und anwendbaren Eindruck. Man muss nicht mehr lange empirische Suchen durchführen, wie bei Bacon. Vier Schritte sind es nach Descartes die man auf der Suche nach der Wahrheit beachten soll. Und bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass man heute in ähnlicher Weise vorgeht. Das Zerlegen eines komplexen Systems in Einzelschritte erinnert in gewisser Weise an die Idealisierung die Galilei einführte. Das stufenweise Vorgehen erscheint heute ganz selbstverständlich, um einen Prozess zu verstehen. Die

Betrachtung der Gesamtheit des Problems verhindert, dass man sich in Einzelheiten verrennt und nicht alle Faktoren berücksichtigt. Allerdings war vor allem der erste Punkt für Descartes von größter Wichtigkeit. Anders formuliert könnte man sagen, dass alles zunächst einmal in Zweifel gezogen werden muss. Jede vorgefasste Meinung, alle Bücher, unseren Sinn und Verstand und die Außenwelt. Descartes geht sogar so weit, dass er an der Existenz des eigenen Körpers zweifelt. Daraus schließt er, dass zuletzt nichts sicher ist, außer der Tatsache, dass er zweifelt. Diese Erkenntnis führt zu dem Ausspruch, der heute noch so bekannt ist:[20, 105, 112]

cogito ergo sum ich denke, also bin ich

In seinen Mediationen gibt Descartes durch ihren Aufbau seine Methode wieder. Dabei steht die Frage im Vordergrund, wie man eine sichere Wahrheit findet. Abbildung 42 zeigt den Aufbau der Mediationen (schwarz unterlegt). Daraus folgt ein Fluss methodischen Vorgehens, den Descartes so auch im Detail beschreibt (weiß unterlegt).[17, 20, 113, 114]

Die erste Mediation handelt über das, was in Zweifel gezogen werden kann. Die Frage ist, wie man beim Zweifeln an sich vorgehen soll. Laut Descartes müsse alles über Gedankenketten miteinander verknüpft sein. Um die Gedanken zu ordnen, seien die oben genannten Regeln hilfreich. Über das Anzweifeln von allem kommt man zur ersten Wahrheit. Das beschrieb Descartes in seiner zweiten Mediation und darin kommt er zu der oben genannten Erkenntnis „ich denke, also bin ich“. In der dritten Mediation beweist Descartes die Existenz von Gott. Dabei geht er davon aus, dass das Wissen unsicher ist, aber der Zweifel nicht. Also ist der Geist unvollkommen. Man hat aber von Gott die Vorstellung, dass er ein vollkommenes Wesen ist. Damit tritt aber folgendes Problem auf: einem unvollkommenen Geist kann keine Idee von Vollkommenheit entstammen. Das heißt, da der Mensch eine Vorstellung von Vollkommenheit hat, selbst aber einen unvollkommenen Geist besitzt, muss es ein vollkommenes Wesen geben.

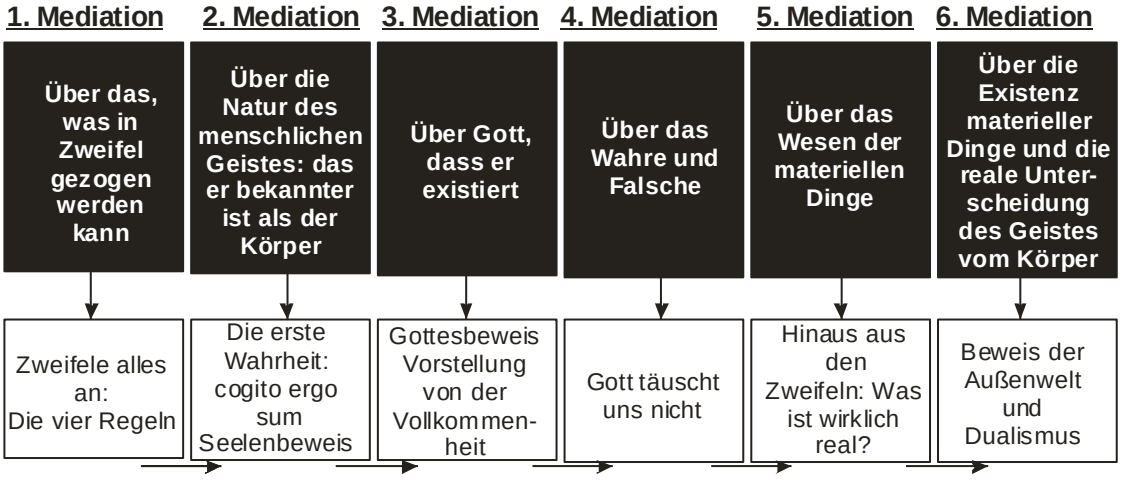


Abb. 42: Aufbau der Mediationen und daraus folgender methodischer Vorgang

Als nächstes beschreibt Descartes den Zusammenhang zwischen dem Wahren und dem Falschen in seiner vierten Mediation. Er geht davon aus, dass Gott in seiner Vollkommenheit den Menschen nicht täuschen kann. Ein dermaßen gearteter Betrug, würde ihm die Vollkommenheit nehmen. Daraus schließ Descartes, dass die Außenwelt keine Illusion sein kann. Mit dieser Annahme ist er bereit aus den Zweifeln hinaus zu treten und danach zu fragen, was wirklich real ist. Dazu verfasst er seine fünfte Mediation, die sich um das Wesen der materiellen Dinge dreht. Den letztendlich Beweis der Außenwelt tritt er in der sechsten Mediation an. Dort findet man auch einen weiteren Schwerpunkt der kartesischen Lehre, nämlich den Dualismus von Seele und Körper.
Im gesamten Betrachtet, ist diese Beweisführung einzigartig. Descartes kommt von der Seele und Gott zu der Außenwelt und nicht umgekehrt. Das heißt, er zweifelt die Außenwelt und den Körper an und kommt nicht von ihnen her. wie manche seiner Vorgänger. Seit Descartes ist man sich einig darüber, dass die Außenwelt keine Illusion ist und das es Sinneswahrnehmungen gibt, die objektiv erfahren werden.[20]
Einen großen Teil der Lehre Descartes` macht der Dualismus aus. Dabei teilt Descartes das menschliche Wese in zwei Teile aus, wie Abbildung 43 zeigt.

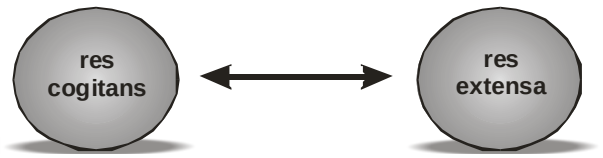


Abb. 43: Der kartesische Dualismus

Im kartesischen Dualismus wird die res cogitans, also das Geistige von der res extensa, dem materiellen, getrennt. Das entspricht also einer Trennung von Seele und Körper.[20, 105, 115] Die Trennung dieser beiden elementaren, menschlichen Bereiche führt allerdings zu einigen Verständnisproblemen. Die folgenden drei Punkte zeigen, um welche es sich dabei handelt:[115]

1. Wenn die res cogitans allein wesentlich ist, und den Menschen ausmacht: Wie ist das dann mit der Körperlichkeit des Menschen zu vereinbaren?
2. Wie kann man den Körper eines Menschen betrachten, ohne ihn nur physikalisch zu beschreiben? Wie passt das zusammen, dass man den Körper desselben Menschen anders bewerten würde als seinen Geist?
3. In welcher Weise wechselwirken die res cogitans und die res extensa?

Vor allem das dritte Problem scheint für die vorliegende Diskussion von Bedeutung zu sein und zwar in Hinsicht auf die Ethik. Wie beeinflusst also die Seele das Handeln des Körpers? Dabei muss man davon ausgehen, dass es mental verursachtes Verhalten gibt. Verhalten des Körpers, dass aus einem Einfluss der Seele resultiert. Descartes nahm im Übrigen die Zirbeldrüse als Mittler zwischen Köper und Seele an. Daran sieht man, dass er wieder auf Körperlichkeit zurück greift, um diesen

Zusammenhang begreiflich zu machen. Eine Möglichkeit der Wechselwirkung zwischen Seele und Körper, also die Abhängigkeit von Physiologie und Ethik wird in der folgenden Abbildung sichtbar.[116]

Bis zum Verhalten und dem Handeln eines Menschen wird laut Descartes ein Werdegang durchlaufen. Er beginnt im Schema oben links. Durch Lebensgeister werden Emotionen hervorgerufen. Diese Lebensgeister sind für Descartes nichts Geistiges sonders etwas Materielles. Es handelt sich um Teilchen, die im Blut des Menschen zu finden sind und ganz praktisch beeinflusst werden können. Das heißt, die Emotionen fallen in den Bereich der res extensa, dem Körperlichen. Die menschliche Natur, also wie ein Mensch ist und welche Emotionen ihn ausmachen, wird also von einer physiologischen Sache abhängig gemacht, nämlich den Lebensgeistern. Der Verstand muss dann im nächsten Schritt über diese Emotionen bestimmen. Sind sie zulässig oder nicht? Sollen sie bekämpft werden? Daraus folgt der Entschluss, ob der Mensch seine Lebensgeister beeinflussen will oder nicht. Diese Entscheidungsfindung läuft auf der Seite der res cogitans ab, also in der Seele. Nachdem der Entschluss gefasst wurde, kommt es zur physiologischen Reaktion, zur Handlung: Bekämpfung der Lebensgeister oder dem Zulassen der Emotion. Das heißt, die Handlung geht vom Physiologischen aus, und endet auch dort. Ohne den Körper gäbe es keine Emotion und es gäbe auch keine Ethik. Descartes ist damit der Erste, der den Emotionen eine biologische Funktion zuordnet.

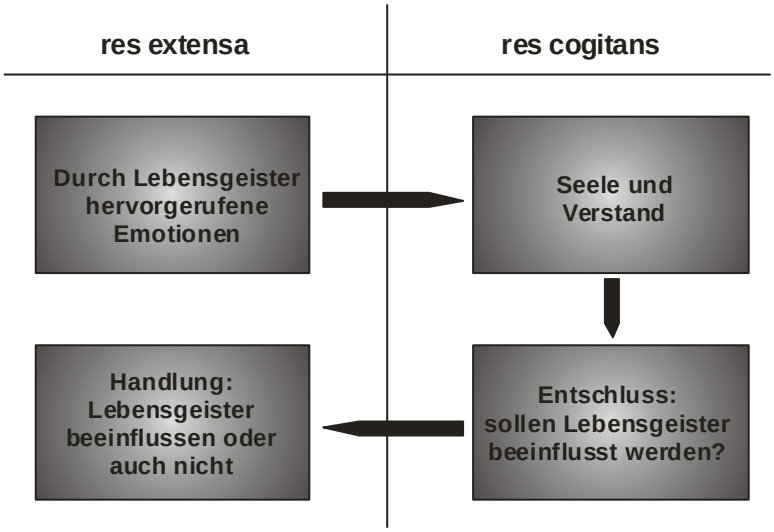


Abb. 44: Von der Seele zum Verhalten

Trotz allem wirft die Überlegung über konkrete Wechselwirkungen zwischen Körper und Seele immer wieder Fragen auf. Wenn man Körper und Geist als zwei unterschiedliche Substanzen betrachtet, so fällt es schwer sich vorzustellen, wie ein Kausalzusammenhang zwischen ihnen bestehen kann. Wie können zwei essentiell unterschiedliche Substanzen miteinander reagieren? Das sie es tun, scheint wohl nicht fragwürdig zu sein. Schon allein die Tatsache, dass ein Mensch über seine Gefühle reflektiert, dass er über das sensorisch-optisch aufgenommene nachdenken

kann, beweist eindeutig, dass es eine Wechselwirkung geben muss. Das Problem der Wechselwirkung an sich, quasi die Frage nach dem Reaktionsmechanismus, erscheint fast konstruiert. Ist es denn überhaupt sinnvoll ein derartiges Gewicht auf dieses Rätsel zu legen. Zweifellos wird es ein solches bleiben, zumindest in Bezug darauf, wie Descartes die Wechselwirkung ins einem Seele-Körper-Dualismus sah. Er gibt keine klare Antwort auf das Problem, sondern stellt nur nüchtern fest, dass es kompliziert sei. Immer wieder taucht der Begriff Materie in Verbindung mit res cogitans und res extensa auf, als seien beide unterschiedliche Arten von Materien, die nicht miteinander wechselwirken können. Zum einen ist die Aussage, unterschiedliche Materie könne nicht miteinander reagieren, weil sie eben unterschiedlich sei, schlichtweg falsch. Sauerstoff reagiert auch mit Wasserstoff obwohl beide grundlegend verschieden sind. Außerdem wollte wohl Descartes nicht den Eindruck erwecken, die res cogitans sei Materie. Wie kann die res cogitans denn Materie sein und trotzdem eben genau das, was von der puren Materie, der res extensa, unterschiedlich ist? Die Debatte, über den Verlauf der Wechselwirkung, dem genaueren Mechanismus führt zu keinem Ziel. Sie hilft nicht zu verstehen, wie ein Mensch auf seine Handlung einwirken kann. es ist unstrittig, dass ein Mensch dazu in der Lage ist. Genauso ist es unstrittig, dass die längste Fettsäure, die der Körper herstellen kann eine C-18-Fettsäure ist. Warum das so ist, ist unbekannt, trotzdem zweifelt man nicht an dem Resultat. Und eben dieses Resultat, dass der Mensch also Einfluss auf seine Handlung hat, ist doch das, was wirklich wichtig ist.[110]

Der Handlungsablauf in Abbildung 44 lässt zudem eindeutige Schlüsse zu, was das Verhältnis von Physik und Ethik bei Descartes bedeutet hat. Da die Emotionen physiologisch verankert sind, gibt es unweigerlich einen sehr starken Zusammenhang zwischen Physik und Ethik. Ein solch ausgeprägter Zusammenhang ist bisher als einzigartig zu bezeichnen.[117] Wie eng die Disziplinen wirklich miteinander verknüpft waren, wird sich im Folgenden noch zeigen, wenn man auf die Wissenschaftseinteilung zu sprechen kommt. Zuerst ist es jedoch sinnvoll einen tieferen Blick in Descartes Ethik zu werfen.

Descartes gilt als Begründer der bürgerlichen Ethik, was wohl vor allem seiner Sittlichkeitslehre zuzuschreiben ist.[105] Die Grundlage der Sittlichkeit seien Leidenschaft, und Laster (Neigungen und Triebe). Unter Leidenschaften versteht Descartes die eben erwähnten Emotionen. An sich sind sie etwas Gutes. Sie helfen dem Menschen in der Welt zu überleben. Angst zum Beispiel schütze. Die Laster hingegen sind etwas Schlechtes. Sie gehen ohne körperliche Regung einher, sie sind von der Seele verursacht. Das heißt, der Körper gibt der Seele positive Signale. Wenn der Mensch schlecht handelt ist die Seele verantwortlich. Sie besitzt die Freiheit zu wählen. Die Physiologie des Menschen kann beeinflusst werden. Der Begriff Freiheit ist bei Descartes eng verknüpft mit dem Begriff der Autonomie. Es ist gemeinsame Sache des Verstandes und des Körpers über Autonomie zu verfügen. An dieser Stelle wird deutlich, für welche Situationen das in Abbildung 44 gezeigte Schema gilt. Es geht hier um punktuelle Handlungen, die von spontanen Emotionen des Körpers abhängig sind. Für die langfristige Lebensplanung ist jedoch die Seele verantwortlich. Sie hat

sozusagen den Plan, bekommt Signale vom Körper, überprüft, ob diese mit dem Plan übereinstimmen oder nicht, und reagiert demenstprechend.[117]

Konkreter wird Descartes in seiner Entwicklung einer provisorischen und endgültigen Moral. Die Moral ist dabei nicht als Nebenergebnis einer wissenschaftlichen Forschung zu verstehen. Vielmehr ist sie eine Voraussetzung. Descartes schaffte damit das, gegen was Ethiker heute vehement kämpfen, nämlich die Ethik als unangenehmes Anhängsel der Forschung zu verstehen. Für Descartes war es jedoch ganz klar. Ohne neue Moral gebe es keine Handlungsregeln, ohne Handlungsregeln keine Methodologie. Zudem war Descartes Ziel nicht erkenntnistheoretischer Art. Seine Lehre sollte angewendet werden. Wissenszuwachs bedeutet für Descartes gleichsam einen Zuwachs an moralisch gestreutem Handeln. Die Differenzierung die Platon viele Jahrhunderte zuvor gemacht hat, nämlich Wissen als sittlich different zu betrachten, bliebt dabei außen vor.[107]

Um zu einer neuen Moral zu kommen, die endgültig genannt werden kann, führt Descartes zunächst jedoch eine provisorische Moral ein. Diese sollte solange gelten, bis man sichere Regeln hat, an die man sich halten kann. Am Anfang gibt es noch nichts, was die Richtlinie vorgibt. Erst wenn man Descartes Methodologie angewendet hat, kann man eine endgültige Moral haben. Der Prozess des Zweifelns muss also zuerst durchlaufen werden. Damit das aber nicht völlig unkontrolliert geschieht, gibt die provisorische Moral vier Regeln vor, die in Abbildung 45 dargestellt sind.[107]

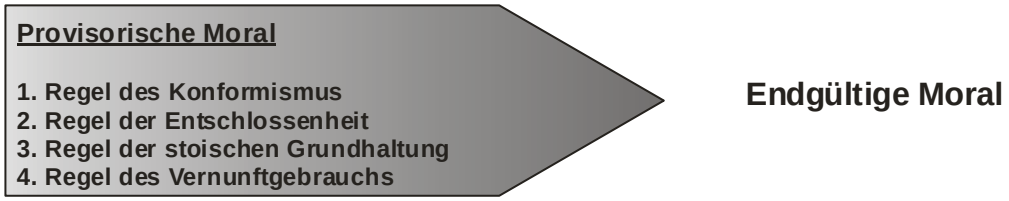


Abb. 45: Provisorische und endgültige Moral

Die Regel des Konformismus meint, dass man den Sitten und den Gesetzen des Vaterlandes gehorchen soll. Man solle an der Religion festhalten und nach den Ansichten richten, die maßvoll sind. Die Regel der Entschlossenheit gibt Gradlinigkeit vor und erinnert schon an die Stoa ehe die Regel der stoischen Grundhaltung folgt. Sie meint, dass nichts gänzlich in unsere Hand liegt und dass man lieber sich selbst verändern solle, als zu versuchen das Schicksal zu ändern. Die letzte Regel des Vernunftgebrauchs meint, dass man alles vernünftig vergleichen solle. Das ganze Leben solle der Pflege der Vernunft dienen. Betrachtet man die vier Regeln im gesamten, wird klar, warum Descartes als Begründer der bürgerlichen Ethik bezeichnet wird. Um zur endgültigen Moral über zu gehen müssen zunächst alle Zweifel beseitigt werden. Allerdings schrieb Descartes die endgültige Moral nie. Sie würde eine Sittlichkeitslehre beinhalten, die ganz ohne Religion auskommen müsste. Eine solche Schrift wäre wohl zu seiner Zeit lebensgefährlich gewesen. Grundsätzlich kann man aber folgende wichtigen Punkte festhalten, die bei der endgültigen Moral eine Rolle spielen: maßgeblich ist nicht etwa eine christliche Tugendlehre. Es gibt keine zehn Gebote und keine Kardinaltugenden.

Basis ist einzig und allein das reflektierende Ich. Das heißt, um heraus zu finden, was gut ist, bedarf es keiner Hilfe von Außen sondern nur der eigenen Vernunft. Das ist ein Aspekt, der bei Bacon noch ganz anders ist. Bei ihm werden die Wissenschaftler noch von außen kontrolliert.
Eine solche Ethik wirft natürlich die Frage auf, ob sie grundsätzlich an Tugenden oder an Normen orientiert ist. Bei der provisorischen Moral scheinen die Tugenden noch eine große Rolle zu spielen, allerdings werden sie dann bei der endgültigen Moral unwichtig. Der Mensch braucht in diesem Stadium keine Tugenden, ein reflektierendes Ich ohne Zweifel genügt. Im Bezug auf die Normen, die Descartes mit seiner Ethik anspricht, ist folgender Gedankengang von Bedeutung: Wenn man nach der Ethik fragt, dann fragt man danach, was der Mensch tun soll. Was soll der Mensch also mit Descartes` Physik anfangen? Dazu schreibt Descartes folgendes:[111]

„…Sobald ich mir aber einige allgemeine Grundbegriffe in der Physik verschafft hatte, diese bei verschiedenen Einzelproblemen zu erproben begann und dabei bemerkte, wohin sie führen könnten und wieweit sie sich von den Prinzipien unterscheiden, deren man sich bis heute bedient hat, so glaube ich sie nicht verbergen zu dürfen, ohne sehr gegen das Gesetz zu verstoßen, das uns verpflichtet, soviel an uns liegt, das allgemein beste aller Menschen zu befördern. Denn sie haben mir gezeigt, dass es möglich ist, zu Kenntnissen zu kommen, die von großem Nutzen für das Leben sind, und statt jener spekulativen Philosophie, die in den Schulen gelehrt wird, eine praktische zu finden, die uns die Kraft und Wirkungsweise des Feuers, Wassers, der Luft, der Sterne, der Himmelsmaterie und aller anderen Körper, die uns umgeben, ebenso genau kennen lehrt, wie wir die verschiedenen Techniken unserer Handwerker kennen, so dass wir sie auf ebendieselbe Weise zu allen Zwecken, für die sie geeignet sind, verwenden und uns so zu Herren und Eigentümern der Natur machen könnten….“

Hier tritt die Herrschaft über die Natur deutlich in den Vordergrund. Descartes ging es nicht nur um die Einhaltung von Tugenden, nicht um die Einhaltung eines Dekalogs und nicht um das Verbleiben bei den Regeln der provisorischen Moral. Es ging um das nutzbarmachen der Natur. Das erinnert an Bacon und führt direkt zu der Frage nach dem gesamten Verhältnis zwischen Ethik und Physik.
Das insgesamte Verhältnis von Physik und Ethik also von Natur- und Geisteswissenschaft wird jedoch von einem weiteren wichtigen Faktor determiniert. Descartes nahm nämlich eine Einteilung der Wissenschaften vor, die so noch nie dagewesen war. Er hatte die Idee der Einheit einer Wissenschaft.[118] Erinnert man sich an die gezeigten verschiedenen Fakultäten im Haus Salomo bei Bacon, so wird der entscheidende Unterschied der beiden Zeitgenossen sichtbar. Descartes Ziel war die totale Interdisziplinarität. Die Einheit aller Wissenschaften ohne Fachgebiete. Institute wie man sie heute an den Universitäten kennt, wären undenkbar. Das Studium einer Einzelwissenschaft stände außer Frage. Schon bei Betrachtung von Ethik und Physik kam man zu dem Schluss, dass die beiden Wissenschaften im kartesischen System eng miteinander verknüpft sind. Das wahre Ausmaß der Verknüpfung wird allerdings erst jetzt sichtbar, wo die Einheit der Wissenschaft in den Blick kommt. Es gibt für Descartes nur noch *die* Wissenschaft, nicht mehr mehrere. Wenn man von

mehreren Wissenschaften spreche, habe man sich bereits den Weg zur Erkenntnis verbaut. Aus heutiger Sicht erscheint diese Meinung einerseits völlig einleuchtend. Jede Wissenschaft kommt heutzutage mit ihren eigenen Vorgehensweisen und ihrer eigenen wissenschaftlichen Sprache daher. Oft gelangen Wissenschaften untereinander in Konflikt, weil sie ihr eigenes Maß jeweils an den anderen anlegen. Das ist auch der Grund, warum man im interdisziplinären Diskurs von Religion und Wissenschaft oft aneckt. Die Religion erfüllt nun mal die Maßstäbe einer Naturwissenschaft nicht, genauso wenig wie eine Chemie die Maßstäbe der Theologie nicht erfüllt. In diesem Punkt stimmen Descartes und Galilei überein. Es ist nicht möglich mit naturwissenschaftlichen Methoden Theologie zu betreiben. Descartes weiß das und doch entwickelte er seine Physik aus religiösen Hintergründen. Wie passt das zusammen? Descartes würde sich selbst unglaubwürdig machen, wenn er nicht die Einheit der Wissenschaft postulierte. Er könnte die Bewegung nicht als göttlich gegeben annehmen und damit die Entstehung der Elemente erklären, wenn er nicht davon ausgehen würde, dass beides zu einer Wissenschaft gehört, nämlich zur einzigen die es gibt. Das einzige was Descartes zugesteht, ist eine Arbeitsteilung im handwerklichen Bereich. Diese sei notwendig. Aber im theoretischen Bereich müsse es eine Einheit geben. Diese allgemeine Wissenschaft ziele auf die allgemeine menschliche Weisheit ab. Diese einheitliche Wissenschaft würde auch vermeiden, dass sich manche Bereiche wichtiger nehmen als andere. Das manche Wissenschaftler vielleicht meinen, die Ethik sei nur Ballast und stehe hinten an. Die totale Interdisziplinarität würde dafür sorgen, dass es völlig gleich relevant wäre, ob man danach fragt, wie etwas funktioniert, oder was es für Vor- und Nachteile bringt. Heute arbeiten die Fachgebiete an Interdisziplinarität. Warum? Anscheinend deswegen, weil aufgefallen ist, dass eine strikte Trennung der Wissenschaften dazu führt, dass Wissen ausgeklammert wird. Die Frage ist: was ist das Ziel des heutigem interdisziplinären Arbeitens? Zurück zur totalen Einheit der Wissenschaft? Und damit stellt sich gleich die nächste Frage: Ist das denn sinnvoll? Geht das, eine Universalwissenschaft? Und damit kommt man auf die Nachteile zu sprechen, die eine von Einzelwissenschaften befreite Wissenschaft vielleicht hätte. Wahrscheinlich ist es nicht möglich in jedem gebiet Experte zu sein. Vielleicht verdünnt man sich nur, wenn man sich in zu vielen Gebieten Wissen aneignet. Oder konkret: kann man die Gentechnik biologisch verstehen und gleichzeitig Experte auf dem Gebiet der Bioethik sein? Tatsächlich scheint es darauf anzukommen, was man mit seinem Wissen anfangen will. Wenn man sich in einem Fachgebiet bewegt, muss man auch wissen, was andere Disziplinen dazu zu sagen haben. Es reicht nicht Kernkraftspezialist zu sein und sich nicht mit Vor- und Nachteilen zu beschäftigen. Vielleicht kann man in manchen Fällen nur an der Oberfläche kratzen, aber man kann auch nicht einfach alles außer Acht lassen, was rechts und links von der eigenen Wissenschaft geschieh. Descartes Wissenschaftssystem ist das beste Beispiel für eine gut funktionierende Zusammenarbeit. Zumindest in der Theorie.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass man mit Descartes eine Lehre vor sich hat, die unglaublich vielschichtig ineinander verstrickt zu sein scheint. Das merkt man gleich am Anfang, wenn man

versucht seine Physik ohne Theologie zu erklären. Oder wenn man seine Ethik darlegen möchte ohne auf die Physik zurück zu greifen. Und das Ganze lichtet sich, wenn man Descartes Ablehnung den Einzelwissenschaften gegenüber ins Blickfeld bekommt. In Descartes` Lehre hängt alles miteinander zusammen. Er versucht der Universalwissenschaftler zu sein, den er sich theoretisch wünscht. Wie gut dieser Wunsch in die Realität umgesetzt werden kann, ist jedoch fraglich. Ein Experte auf dem Gebiet der Universalwissenschaft zu sein, ist wohl nicht möglich. Das erinnerte an die Universalgelehrten der Antike. Und doch versteht sich Descartes nicht als Philosoph sondern als Wissenschaftler. Es erstaunt, dass er sowohl in Philosophenlexika, als auch Lexika von Naturwissenschaftlern zu finden ist.[105, 106] Insgesamt scheint seine Lehre doch eher zu den der Universalgelehrten zu passen, als zu denen seiner Zeitgenossen Galilei und Bacon. Obwohl Galilei einen großen Schritt in dieselbe Richtung tat, war es doch Descartes, der die Prinzipien einer neuen Wissenschaft formulierte. Er übergeht die Induktion von Bacon völlig und wählt stattdessen einen ganz anderen Weg fern von auf Erfahrungen gestützter Erkenntnisse. Die Verantwortung, die bei Bacon noch stark bei der Gesellschaft liegt, die die Wissenschaftler kontrolliert, lokalisiert Descartes bei dem reflektierenden Ich. Die Eigenverantwortlichkeit für das persönliche Tun rückt in den Vordergrund. Die Vorstellung von Wissenschaft, von Ethik und von Physik ist in jedem Fall auch im direkten Vergleich zu seinen Zeitgenossen außergewöhnlich und neuartig.

2.2.4 Newton als Wissenschaftler und Magier

Betrachte man die Linie der bisher besprochenen Wissenschaftler und Philosophen, so scheint Newton deutlich hervor zu stechen. Schon zu seinen Lebzeiten wurde er als übermenschlich und großartig verehrt. Und auch heute spricht man seinen Namen mit einem überaus bemerkenswerten Respekt aus. Albert Einstein verfasste das Vorwort einer neuen Auflage von Newtons „Opticks“. Darin beschreibt Einstein Newton wie folgt:[119]

„…Nature to him was an open book, whose letters he could read without effort. Conceptions which he used to reduce the material of experience to order seemed to flow spontaneously from experience itself, from the beautiful experiments which he ranged in order like playthings and describes with an affectionate wealth of detail. In one person he combined the experimenter, the theorist, the mechanic and, not least, the artist in exposition. He stands before us strong, certain, and alone: his joy in creation and his minute precision are evident in every word and every figure…”

Es ist beeindruckend, welche warmen Worte einer der klügsten Köpfe, Albert Einstein, für Newton übrig hatte. Aber was faszinierte die Menschen an ihm? Welche Entdeckungen machen ihn zu einem Ausnahmetalent der Wissenschaftsgeschichte und was hatte Newton mit Magie zu tun?
Isaac Newton gilt gemeinhin als Begründer der klassischen, theoretischen Physik. Er führte bedeutende Neuerungen auf dem Gebiet der Physik und Chemie ein und schließlich durchbrach er

gewisser Maßen die durch Aristoteles` Lehre verursachte Abgleitung der Chemie in die Alchemie. Newton machte die Chemie wieder salonfähig.[120, 121] Die bis dahin noch etablierte Lehre des Aristoteles wurde zwar schon durch Galilei kritisiert, aber erst nach Newton kommt es zur Ablösung des Lehraritotelismus.[20] Wie Galilei postuliert er die Gleichartigkeit von Erde und Kosmos.[42] Ein weitere Grund, warum Newton wohl Aristoteles ablehnte, war seine eigene Zugehörigkeit zu Platons Lehre. Newton hielt sich mit Platon an die Mathematik. Er beschrieb einen Zusammenhang zwischen der schöpferischen, immateriellen Ursache und der dazugehörigen mathematischen Wirkung. Aristoteles hingegen hatte postuliert, dass die Natur nicht mathematisch erfassbar sei, weil sie zu viele Formen habe und damit schlicht und einfach zu umfangreich wäre. Newton bestritt die Vielfältigkeit der Natur nicht. Das er die Natur trotzdem Mathematisieren konnte, lag an dem unterschiedlichen Naturverständnis, dass zwischen Aristoteles und Newton vorlag. Abbildung 46 veranschaulicht, was den Unterschied zwischen den beiden Naturbegriffen ausmacht.

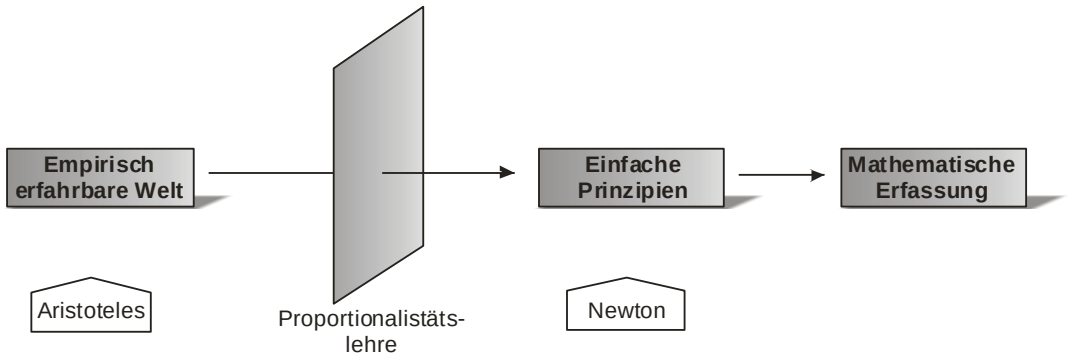


Abb. 46: Zwei verschiedene Naturen bei Aristoteles und Newton

Aristoteles geht von der empirisch erfahren Welt aus. Durch sie wird die Natur beschrieben, die Aristoteles meint und die er als „unberechenbar“ darstellt. Newton meinte mit Natur allerdings eine durch die Proportionalitätslehre reduzierte Form der empirisch erfahrbaren Welt, die durch einfache Prinzipien dargestellt und schließlich mathematisiert werden kann.[122]

Das heißt, Newton rechnet der Mathematik eine hohe Stellung zu. Allerding bleibt sie für ihn trotzdem nur ein methodisches Hilfsmittel der Physik, genauso wie die Astronomie ein Anwendungsgebiet der Physik bleibt.[121] Aber obwohl sich, wie noch gezeigt werden wird, Gegensätze zu seinen Vordenkern auftun, erklärt Newton doch, er würde auf anderen Lehren aufbauen und verdeutlich das mit dem Stehen auf den Schultern von Riesen. Mit diesen Reisen könnten Galilei und Kepler gemeint sein.[42] Tatsächlich weiß man, dass Newton Galileis Dialog schon früh gelesen hatte. Auf der anderen Seite gehen viele Wissenschaftler davon aus, dass er ebenfalls von Descartes beeinflusst worden war.[123]

Parallelen zu Descartes ergeben sich dann, wenn man sich grundsätzlich damit beschäftigt, was Newton mit Ursache und Wirkung verband. Dieses Problem geht auf Descartes` Dualismus zurück. Newton fragte sich auch, wie Geist und Körper, wie res cogitans mit res extensa zusammenwirken. Newton postulierte eine Trägheit, die in jede Materie eingepflanzt ist (materie vis insita). Diese

Trägheit stehe in Wechselwirkung mit der Kraft, die vom Körper ausgehe (vis impressa). Abbildung 47 fasst das Gesagte zusammen:[122]

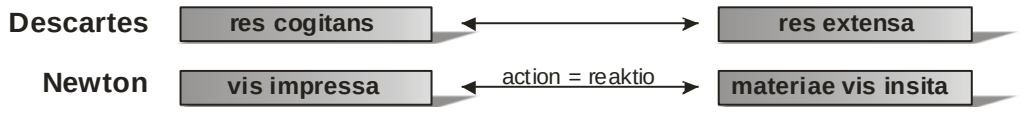


Abb. 47: Zusammenhang zwischen Newton und Descartes

Was bei Descartes die res cogitans war, kann mit Newtons vis impressa verglichen werden. Die res extensa gleicht der materiae vis insita. Die beiden newton`sche Kräfte stehen miteinander in Wechselwirkung. Es gilt das Prinzip „actio = reactio". Wenn also die äußere Kraft drückt, reagiert die innere Trägheit und umgekehrt. Die Parallelen zu Descartes sind also nicht zu leugnen.[122]
Wie seine Vordenker entwickelte Newton auch eine ihm ganz eigene Forschungsmethode. Abbildung 48 zeigt den Fluss der einzelnen Schritte. Am Anfang steht die Überlegung woraufhin das Experiment folgt. Auf der Basis des Experiment kann dann eine Aussage getroffen werden, die durch anschließende Messungen überprüft werden soll.[20]

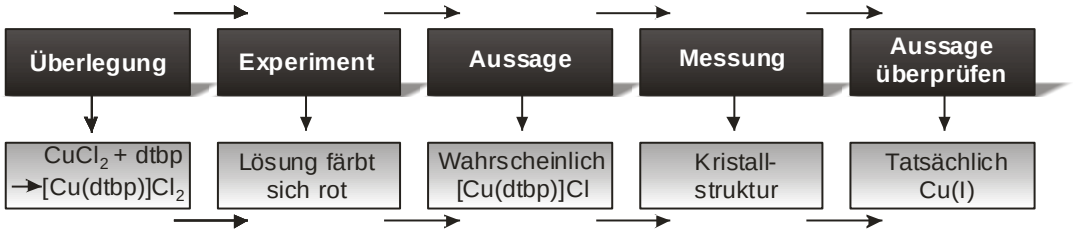


Abb. 48: Newtons Forschungsmethode

Die hell unterlegten Kästchen zeigen ein Beispiel aus der Komplexchemie. Am Anfang steht die Überlegung, welcher Komplex entsteht, wenn man Cu(II)-chlorid mit di-*tert*-butyl-Phenantrolin (dtbp) umsetzt. Allen Erfahrungen nach sollte ein Cu(II)-Komplex generiert werden. Daraufhin folgt das Experiment. Man beobachtet, dass sich die Lösung rot färbt. Aus dieser Beobachtung heraus kann man schlussfolgern, dass es sich wahrscheinlich doch um einen Cu(I)-Komplex handelt, da die rote Farbe typisch für solche Komplexe ist. Nach der darauffolgenden Kristallstrukturmessung kann die Aussage bestätigt werden. Es handelt sich um einen Cu(I)-Komplex.
Newtons Methode unterschied sich also in gewissen Punkten von der seiner Vorgänger. Sie war nicht wie Galileis Methode, der noch viel über logische Schlussfolgerungen begründete. Sie war auch nicht wie die cartesische Methode, die das gesamte Weltsystem rational auf einen Ausgangspunkt, auf die Mechanik, zurückführte. In gewisser Weise gleicht sie am ehesten der Methode von Bacon, da die Beobachtung maßgeblich wichtig ist. Allerdings ließ er wie schon erwähnt die Mathematik außen vor. Die Differenzen dieser vier Wissenschaftler werfen die Frage auf, welche Kriterien gelten, um zu einer wahren Aussage zu gelangen. Bei genauerer Betrachtung

erkennt man, dass man von zwei Seiten her zu Aussagen kommen kann. Abbildung 49 veranschaulicht die beiden Möglichkeiten.

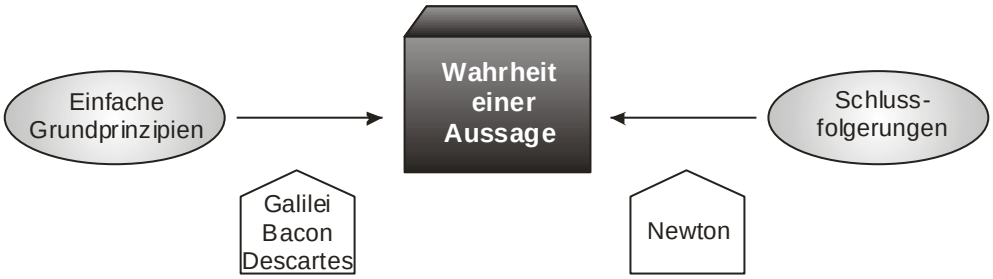


Abb. 49: Zwei Wege zu einer wahren Aussage

In der Mitte im schwarzen Kasten ist das Ziel dargestellt, nämlich die Wahrheit einer Aussage. Nun ist es möglich von links kommenden zu einer solchen Aussage zu gelangen. Die Argumentation von Galilei, Bacon und Descartes beruhen auf einfachen Grundprinzipien, die logisch auf eine Aussage schließen lassen. Newton hingegen wählte einen anderen Weg. Seine Überlegungen basierten auf Schlussfolgerungen. Zudem forderte Newton drei Regeln, die auf der Suche nach Wahrheiten eingehalten werden sollten:[20]

1. Eine Naturerscheinung sollte nicht mehr Ursachen zugeordnet werden, als zu ihrer Erklärungen notwendig sind.
2. Gleiche Naturerscheinungen sollen wenn möglich gleichen Ursachen zugeordnet werden.
3. Die Ergebnisse der induktiven Methode sollen anerkannt werden, solange man ein Phänomen nicht besser beschreiben kann.

Dabei steht die Wichtigkeit des Experiments bei Newton stets im Vordergrund. Eine Aussage, die nicht durch das Experiment oder durch Beobachtungen gestützt werden kann, bezeichnet Newton als Hypothese. Sein Leitsatz in diesem Zusammenhang lautet: hypothese non fingo.[20] Das Aufstellen einer Hypothese lehnt Newton für sich ab. Für ihn hat eine Aussage ohne unterstützendes Experiment wenig Wert. Unter diesem Aspekt kritisiert er Descartes. Die cartesischen Wirbel seien schlicht weg Hypothesen.
In Hinsicht auf das Experimentieren an sich, gibt es für Newton zwei Aspekte. Zum einen das Ein-sehen und zum anderen das Be-greifen. Das heißt zunächst, dass sich Newton im Raum der Anschauung bewegt. Er will nicht nur bloß die „Oberfläche“ sehen, sondern er will ein-sehen, gewisser maßen hinein-sehen oder dahinter-blicken. Newton wollte aber nicht nur beobachten, sondern er wollte auch be-greifen, ein-greifen, anfassen. Handeln und schauen wie sich eine Sache verhält. Das erinnert doch sehr an Galileis vitae. Das pure Hinschauen hat Newton hinter sich

gelassen. Das Eingreifen steht an vorderste Stelle. Und eben dieses Eingreifen zeigt symbolisch, welche Wende der Wissenschaftsgeschichte bevor stand.

Doch ganz ohne Annahmen kam auch ein Newton nicht aus. Er verwarf den Begriff der Hypothese und führte dafür eine neue Theorienbildung ein. Abbildung 50 zeigt den Werdegang eines Rechenergebnisses zur Theorie. Die Rechenergebnisse werden zunächst physikalische Größen zugedacht. Dadurch gewinnt die Mathematik an Inhalt. Das mag heute völlig banal erscheinen, aber die Einführung von Einheiten war ein wichtiger Schritt in der Wissenschaftsgeschichte. Es ist nicht natürlich gegeben, dass ein Zug eine gewisse *Geschwindigkeit* hat, oder dass eine Kraft in *Newton* gemessen wird. Erst die Einführung dieser Einheiten führte dazu, dass man heute wie selbstverständlich von einer Zahl spricht, die ohne Einheit völlig zusammenhangslos und ohne Sinn erscheinen würde. Den Inhalt, der damit einem Rechenergebnis zukommt, kann gedeutet werden. Aufgrund dieser Deutung kann man dann letzten Endes auf eine Allgemeinheit schließen und eine Theorie entwickeln. Diese physikalische Theorienbildung stand im Gegensatz zu Descartes` mechanistischem Ansatz. Man könnte sagen, dass Newton von der Mathematik, über die physikalische Größe zur Mechanik hin kam. Descartes hingegen kam von der Mechanik her und erklärte alles auf ihrer Basis.[121]

Abb. 50: Theorienbildung

Insgesamt kann man also eine Neuorientierung der Naturphilosophie und damit eine Abschaffung der Scholastik festmachen. Bisher ging es den Gelehrten nicht um die Betrachtung der Natur an sich, sonder Inhalt der Lehren war, wie Aristoteles die Natur betrachtete. Als man feststellte, dass mechanistische Ansätze, wie Galilei oder Descartes sie hatten, die Natur viel besser beschreiben konnten, wurde das als skandalös empfunden. Man muss sich vorstellen, dass den Wissenschaftlern und Philosophen gewissermaßen der Boden unter den Füßen weggezogen wurde. Aber es lag auf der Hand, dass die mechanistische Lehre eine Menge Vorzüge bot. Sie bot leichte Lösungen für komplexe Erscheinungen und konnte sogar Dinge erklären, für welche die Aristoteliker okkulte Kräfte benötigten. Doch auch die cartesische Lehre wurde von Newton weiterentwickelt und verbessert. Descartes postulierte, dass Gott alles einmal angestoßen hat und seit dem habe das Universum eine konstante Bewegung. Ein Gegenstand könne somit nicht von selbst abbremsen, er müsse gebremst werden. Damit war Newton allerdings nicht einverstanden. In einem Brief schrieb er auszugsweise:[124]

„…Gibt es irgendein Experiment, das Sie lehrt […] die Explosion von Schießpulver versetze die Kugel nicht in neue Bewegung, oder der Wille eines Menschen könne seinem Körper keine neue Bewegung verleihen? […] Nennen Sie mir ihre diesbezüglichen Experimente, wenn Sie welche kennen; wenn nicht, so steht Ihre Meinung auf schwankendem Grund…“

Im Gegensatz zu dem cartesischen System, postulierte Newton die aktiven Prinzipien. Auf diese Mechanismen müsse man sich berufen, wenn man mit der Mechanistik nicht mehr alles erklären könne. Eines dieser Prinzipen sei die Gravitation.[125] Allerdings schien das Postulat der Fernwirkung bei den Cartesianern keine Zustimmung zu finden. Sie warfen ihm vor, er berufe sich auf die okkulten Techniken des Aristoteles. Newton allerdings unterschied zwischen zwei verschiedenen okkulten Qualitäten. Zum eine gebe es okkulte Qualitäten, die noch nicht gefunden wurden, das heißt zu deren Funktionsweise man noch keine Zugange hat. Zweitens gebe es okkulte Qualitäten, die niemals zu finden seien, weil Aristoteles sie auch nicht finden konnte. Newton zählte seine aktiven Prinzipien zu der ersten Sorte. Auf den ersten Blick scheint das verwirrend zu sein, weil Newton die aristotelische Lehre ablehnte, aber auf der anderen Seite nicht von okkulten Qualitäten abgehen wollte. Die aktiven Prinzipien die Newton beschrieb, waren aber wie gezeigt ganz anderer Art, wie die des Aristoteles. Ihre Funktionsweise war lediglich *bisher* unentdeckt. Newton schloss nicht von vorne herein aus, die okkulte Qualität seiner aktiven Prinzipien zu finden. Newton nahm seine okkulten Qualitäten nicht aus dem Gebiet des Aristotelismus, sonder aus der natürlichen Magie.[124] Doch bevor genau darauf eingegangen werden soll, inwiefern man Newton als Magier bezeichnen kann, soll zunächst seine physikalische Lehre beleuchtet werden.

Wie schon gesagt, haben wir Newton die physikalischen Größen zu verdanken, das ist jedoch nicht alles. Zunächst befasste sich Newton mit dem grundlegenden Begriff der Materie und rechnete ihr zwei verschiedene Qualitäten zu.

Abb. 51: Qualitäten und Grundbegriffe der Physik

Abbildung 51 veranschaulicht, welche Größen notwendig sind, um die Materie zu beschreiben. Auf der einen Seite ist es die Räumlichkeit der Materie, ihre Ausdehnung also ihr Vermögen Raum einzunehmen. Auf der anderen Seite wird sie durch ihre Bewegungsfähigkeit charakterisiert, also durch ihre Fähigkeit ihren Ort zu verändern. Diese beiden Qualitäten machen es möglich Materie eindeutig zu charakterisieren. Eine Masse (die durch ihre Ausdehnung charakterisiert ist) kann sich also in einem Raum mit der Zeit fortbewegen. Alle anderen Qualitäten, die einem Gegenstand anhaften seien auf diese beiden Grundgrößen zurückzuführen. Die Grundgrößen der newton`sche Physik sind also konkret Raum, Masse und Zeit. Das Wesen der Materie wird durch die beiden Qualitäten sowie durch die Grundgrößen charakterisiert. Die newton`sche Lehre beruht in diesem Sinne auf der platonsichen.[121]

Newton differenziert Zeit und Raum in relativ und absolut. Die absolute Zeit sei demnach nicht erfassbar, man könne nur die relative Zeit messen, also lediglich Vergleiche ziehen. Ebenso sei der absolute Raum unbegrenzt und nicht messbar. Er bleibe stets gleich und unbeweglich. Der relative Raum hingegen kann durch einen Bezug erfasst werden. Das Sprechen von absolutem Raum und absoluter Zeit stehen hier im deutlichen Gegensatz zu Descartes, der nur von einem relativen Raum ausging. Dieser relative Raum erlaubte es ihm die Erde als unbeweglich im Vergleich zu ihrem Wirbel anzusehen und somit den Zorn der Kirche nicht auf sich zu zeihen. Die Bewegung eines Körper dachte Descartes immer nur im Verhältnis zu seiner Umgebung.[20, 121]

Newtons physikalische Betrachtungen lieferten uns viele Gesetzte, die auch heute noch Gültigkeit haben. Als wichtigste newton`sche Erkenntnisse seien die folgenden zehn erwähnt:[126]

1. Das erste Newton`sche Axiom
2. Das zweite Newton`sche Axiom
3. Das dritte Newton`sche Axiom
4. Die Einheit „Newton“
5. Die nicht-relativistische Mechanik
6. Das Gravitationsgesetz
7. Das Newton`sche Abkühlungsgesetz
8. Die Newton`schen Ringe
9. Die Newton`sche Optik
10. Das Newton`sche Relativitätsprinzip

Allein der Umfang, der hier aufgelisteten Entdeckungen bezeugt Newtons Bedeutung für die Wissenschaftsgeschichte. Auf den Inhalt der einzelne Punkte einzugehen, ist in diesem Rahmen leider nicht möglich, doch scheint ein Punkt immer wieder rezipiert zu werden und Newtons Identität auszumachen: das Gravitationsgesetz.

Mit Hilfe des Gravitationsgesetzes kann man zeigen, welcher Zusammenhang zwischen Newtons Physik und er Magie bestand. Wie schon gesagt, wurde die Annahme einer Fernwirkung von den Cartesianern als skandalös empfunden. Doch behielt Newton diese Theorie bei.[17, 20, 108, 124] Die aktiven Prinzipen wurden als okkulte Kräfte bezeichnet und Newton lehnte diesen Begriff nicht ab. Die Berechtigung dieser Theorie lieferte ihm die natürliche Magie. Sie geht davon aus, dass alles eine okkulte Potenz hat. Um herauszufinden, welche Potenz ein Ding hat, gebe es verschiedenen Möglichkeiten. Eine davon war die empirische Beobachtung durch gezielte Experimente. Beispielsweise kann man beobachten, dass eine bestimmte Pflanze gegen Kopfschmerzen hilft. Woher diese Wirkung kommt ist dabei egal, es geht nur darum, was die Wirkung ist. Diese Vorgehensweise erinnert an Bacon, weil sie sehr empirisch daher kommt. Newton nahm also die okkulten Qualitäten aus der natürlichen Magie. Es ging ihm nicht darum zu erklären wie die Kräfte wirkten, sondern nur, dass sie es taten. Er erklärte aufgrund empirischer Beobachtung die Anziehungskraft zwischen zwei Körper als real, auch wenn er nicht wusste, wie sie funktionierte. Dabei nahm er an, dass es grundsätzlich möglich sei, den Wirkmechanismus herauszufinden. Und das unterscheidet Newtons okkulte Qualitäten von denen der Scholastiker.[124]

Allerdings gab es Probleme, die mit dem Postulat der Fernwirkung einher gingen. Die Cartesianer wollte die Fernwirkungen nicht akzeptieren, weil ihre Lehre auf dem Wirken von mechanistischen Kräften beruhte. Sie warfen Newton vor, dass die Physik dadurch wieder zur Naturmystik werden würde. Tatsächlich machte Newton die Physik wieder ein Stück weit unverständlicher, nachdem die Mechanismen der Cartesianer so gut nachvollziehbar waren und auf nichts Mystisches zurück griffen.[17] Heute will man nicht glauben, dass Newton etwas mit der Magie zu tun hatte, wo er doch als außerordentlicher Naturwissenschaftler verehrt wird. Aber die Wirklichkeit zeigt, dass von Newtons 1752 Büchern nur 369 wissenschaftlich waren und sich ganze 170 Werke mit magischen Inhalten befassten.[124] Heute weiß man, dass die Naturwissenschaft keines Wegs immaterielles ausschließt. Und Newton sah das schon zu seiner Zeit genauso. Er verzichtete lediglich darauf, darüber zu diskutieren, woher diese Kraft kommt. Newton behandelt die Kräfte nur mathematisch. Er beweist mit der Fernwirkung, dass es unmöglich ist alles mechanistisch zu erklären.[108]

Auch wenn man Newton heute mit Naturwissenschaft in Verbindung bringt, wurden er schon oft als „der letzte Magier“ bezeichnet.[127] In diesem Sinne scheint er mit Bacon verwandt zu sein. Bei beiden findet man noch Reste der Magie, die ihn ihrer Vergangenheit noch einen Großteil des Denkens ausgefüllt hat. Beiden gelingt es nicht die Wissenschaft von der Magie abzukapseln.

Ein besonderes Verhältnis hat Newton zu einem weiteren „magisch angehauchten“ Bereich, nämlich der Alchemie. Heute erinnerte eine Legierung die nach Newton benannt wurde an seine chemischen Tätigkeiten. Sie setzt sich aus Blei, Zinn und Bismut im Verhältnis von 3:3:8 zusammen. In der Linie der Atomistiker hielt er sich an die Atome, die er als starr und unverwüstlich dachte. Wie Demokrit dachte er sich den Makrokosmos als Resultat des Mikrokosmos. Natürlich klingt das im ersten Moment exakt wie die Lehre der antike Atomistiker, aber wenn Newton das zu seiner Zeit sagt, bekommt es eine andere Note. Die Atomlehre (Korpuskaltheorie) wird jetzt quantitativ formuliert. Es geht jetzt wirklich konkret um Wechselwirkungen zwischen Atomen. Die Lehre ist weit weniger fiktiv und kausal wie bei Demokrit.[20, 124]

Allerdings bereitet uns Newtons Beschäftigung mit der Alchemie noch heute Probleme. Man mag sich den großen theoretischen Physiker nicht als einen Mann vorstellen, der in einem Laboratorium okkulte Experimente durchführt. Die Alchemie wird als Pseudowissenschaft bezeichnet und damit scheint man Newton nicht in Verbindung bringen zu wollen. Außerdem gibt es noch weitere gute Gründe, warum man Newtons alchemistische Seite vernachlässigt. Es gibt nur wenig herausgegebene Aufzeichnung. Das meiste Wissen sammelt man aus schlecht lesbaren Manuskripten, die schwer zu verstehen sind. Newtons Notizen sind oft im Text korrigiert worden und verweisen auf Autoren, die nicht bekannt sind. Daher fällt es auch schwer zu unterscheiden, wann Newton eigene Meinungen äußert und wann er die eines anderen rezipiert. Erschwerend kommt hinzu, dass er ständig zwischen Latein und Englisch wechselte.[128]

Newtons Beschäftigung mit der Alchemie schien tatsächlich einen geschichtlichen Verlauf zu nehmen. Seine ersten Experimente fanden im privaten Beriech statt. In dieser Zeit schwieg er über die Alchemie. Erst als Newton Direktor der königlichen Münze und Präsident der Royal Society

wurde, ließ sich sein chemisches Interesse nicht mehr verheimlichen. Er sorgte dafür, dass die Chemie in die öffentliche Forschung aufgenommen wurde. Ein Netzwerk aus Newtons Anhänger und Schülern an verschiedenen Universitäten unterstützten sein Vorhaben und stellte Nachforschungen an, um chemische Aussagen experimentell zu untermauern. Newton sorgte also dafür, dass die Chemie ins wissenschaftliche Netz eingegliedert wurde Es blieb jedoch geheim, aus welchem Kontext Newtons chemische Erkenntnisse stammten, nämlich aus dem der Alchemie. Wenn sich Newton beispielsweise in Briefen zu chemischen Experimenten äußerte legte er sein Schreiben rhetorisch so an, als berichte er über etwas, dessen Wahrheit er weder bestätige noch abstreite. So schrieb er zum Beispiel an Robert Boyle über den Äther:[128]

„…Du wirst leicht erkennen, ob an diesen Mutmaßungen irgendein Grad von Wahrscheinlichkeit ist, und das ist alles, worauf ich abziele. Was mich selbst betrifft, so habe ich zu Dingen dieser Art wenig Neigung und hätte wohl niemals dafür zur Feder gegriffen, wenn nicht deine Ermutigung mich dazu bewogen hätte…“

Über den chemischen Prozess der Schöpfung schrieb Newton an Thomas Burner und merkte folgendes an:[128]

„…Ich habe nichts niedergeschrieben, das ich gut durchdacht hätte oder zu dessen Verteidigung ich mich hergeben würde…“

Newton konnte also darauf verzichten sich für sein chemisches Interesse zu rechtfertigen. Aber warum schien Newton dieses Thema unangenehm zu sein? Warum verheimlichte er seine Experimente? Diese Frage führt zu einem weiteren Bereich, der von Newtons physikalischen Errungenschaften überschatten worden ist: nämlich seinem Interesse für Religion und dem Zusammenhang zwischen Wissenschaft und Theologie.
Newton unterschied zwischen der vulgären Chemie und dem Interesse an den Vegetationsvorgängen. Unter Vegetationsvorgängen versteht Newton Vorgänge, die das Wachsen und das Leben betreffen. Nach dem damaligen Verständnis kamen sie bei allen Metallen, Tieren und Pflanzen vor. Während die vulgäre Chemie lediglich diese Vorgänge nachahmen wollte, war es Newtons Anliegen diese Vorgänge anzuregen und in sie einzugreifen. Um das zu bewerkstelligen, musste er in den vegetativen Geist eingreifen, der als sehr feine und kleine Materienmenge verstanden wurde. Ohne diesen Geist bliebe in jedem Ding nur tote Materie zurück. Dieser vegetative Geist sei von Gott geschaffen worden und Gott wirke durch diesen Geist. Der Zusammenhang zwischen Religion und Wissenschaft wird also über die Chemie geschlagen. Zur Veranschaulichung soll die folgende Abbildung dienen:

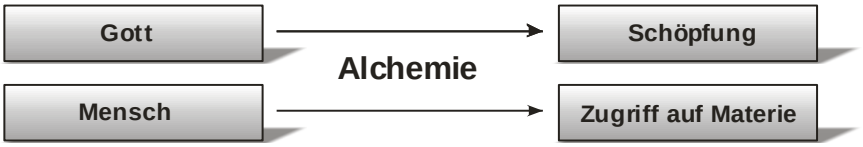


Abb. 52: Zusammenhang zwischen Theologie und Chemie

Newton wahr anscheinend der Ansicht, dass der Schöpfungsbericht in 1. Mose eine Darstellung eines chemischen Prozesses sei. Das heißt, Gott schuf mit Hilfe von Alchemie die Welt, indem er sie mit dem vegetativen Geist bearbeitete. Da die Alchemisten nun auf der Suche nach dem vegetativen Geist waren und mit dessen Hilfe auf die Materie einwirken wollten, ahmten sie so den Schöpfungsakt nach. Mit dieser Bedeutung von Alchemie im Blick wird klar, warum Newton alchemistische Experimente geheim hielt, vor allem in einer Zeit, in der die Macht der Kirche noch allgegenwärtig war.[128]
Die Idee von Gott als Schöpfer beschränkte sich bei Newton nicht nur auf die Mechanik, also auf einen Gott, der alles einmal in Bewegung gesetzt hatte, sondern er ging noch einen Schritt weiter und dachte Gott als Chemiker. In seinen Opticks schriebt Newton:[20]

„…Am Anfang erschuf Gott das All und die Atome…“

Obwohl sich Newton eine naturwissenschaftlich-rationale Basis für seine Physik wünschte, war er zutiefst religiös und hat immer wieder darauf hingewiesen, dass eine göttliche Einflussnahme nicht nur denkbar sondern auch notwendig sei. Zu Newtons Zeit trennten sich langsam die Bereiche des Wissens von den Bereichen des Glaubens, Newton hingegen schien nicht nur der letzte Magier zu sein, er hielt auch an einem Zusammen von Wissenschaft und Theologie fest. Er verteidigte sich sogar gegen den Vorwurf des Atheismus, der nach der ersten Veröffentlichung seiner Principia aufkam und revidierte das Werk, indem er ein scholium generale anhing, in dem er den Gottesgedenken klarer konstruierte.[129, 130] Die Briefe an Bentley, der um Newtons Hilfe bei der Vorbereitung einer Vorlesung in Gedanken an den verstorbenen Boyle bat, zeigen außerdem, wie Newton über den Zusammenhang zwischen Schöpfung und Materie dachte.[131]
Allerdings war es nicht nur Newtons Glaube, der eine Brücke zur Theologie schlug, es war vielmehr Newtons Person als solches. Heute und auch schon zu seiner Zeit wird oft von der Apotheose Newtons gesprochen. Newton fühlte sich als auserwählt, um im Buch der Natur zu lesen.[132]

Obwohl uns Newton vor allem wegen seiner physikalischen Errungenschaft in Erinnerung geblieben ist, gibt es doch weit mehr an ihm zu entdecken wie etwa seine Axiome oder das Gravitationsgesetz. Die Methode, mit der er Wissenschaft betrieb ist praxisnah. Sie mag zwar hier und da auf den Methoden seiner Vorgänger beruhen, aber die Kombination von Bacons Empirie und Descartes Mathematik ist vollkommen neu. Um einen abschließenden Überblick über die Lehren der vier großen Denker zu gewinnen, soll folgende Tabelle dienen:

Tab. 2: Vergleich zwischen Galilei, Bacon, Descartes und Newton

Galilei	Bacon	Descartes	Newton	
X		X	X	Mathematik
	X			Qualität
X		X	X	Quantität
		X	X	Religion
	X	X		Ethik
X		X	X	Anwendbarkeit
	X		X	Magie

Zusammen mit Galilei und Descartes erkennt Newton die Wichtigkeit der Mathematik für die Naturwissenschaft. Qualitäten gibt es bei Newton nur zwei, die Räumlichkeit und die Bewegung. Alles Weitere wird auf diese beiden Qualitäten zurückgeführt. Qualitäten, wie sie für Aristoteles wichtig waren, oder wie sie Bacon empirisch beobachtet, spielten bei Newton keine Rolle mehr. Die Quantisierung der Natur geht mit der Mathematik einher und daher findet sich Newton hier in der Linie, Galileis, und Descartes wieder. Religion spielte für Newton eine wichtige Rolle und sie beeinflusste auch seine Wissenschaft. Ebenso erging es Galilei und Descartes. Bacon hingegen versuchte die Religion als einen Bereich zu betrachten, den man von der Wissenschaft trennen musste. Ein Bereich, der bei Newton keine weitere Bedeutung zu haben scheint ist die Ethik. Newton verliert kein Wort darüber, wie er sich das Handeln der Menschen wünscht. Eine Anleitung, wie man mit seiner Wissenschaft umgehen soll, gab er auch nicht. Sein Anliegen war nicht ethischer Art. Er war sicher Wissenschaftler und etwas Theologe. Allein Bacon und Descartes befassten sich mit einer zu ihrer Wissenschaft passenden Ethik. Allerdings findet die Lehre Newtons eine gut realisierbare Anwendbarkeit. Das wird schon allein dadurch bewiesen, dass sich Newtons Gesetze in den heutigen Physik-Lehrbüchern wieder finden und mit vielen anschaulichen und lebensnahen Beispielen untermauerte werden. In diesem Punkt ist er mit Galilei und Descartes zu vergleichen. Bacon hingegen wünschte sich eine Anwendung seiner Methode, aber sie erscheint heute völlig unanwendbar. Zuletzt kann man festhalten, dass Newtons Verbindung zur Magie etwas ist, das er mit Bacon gemeinsam hat.
Auch wenn Newton heute als Naturwissenschaftler schlechthin angesehen wird, auch wenn man bei seinem Namen nur an physikalische Gesetze denkt, kann man doch nicht umhin seine Verbindung zur Magie einzugestehen. Und vielleicht war es auch Newtons offenes Ohr für okkulte Kräfte, das ihm das Denken einer Gravitationskraft überhaupt ermöglicht hat.

Zuletzt soll Newton noch in einen weiteren Zusammenhang gebracht werden. Die enge Verbindung seiner Naturwissenschaft zur Religion zeigt, wie wichtig Newton die Rede von Gott war. Die natürliche Theologie liefert in diesem Zusammenhang einen wichtigen Rahmen.

Der Begriff „natürliche Theologie“ kommt zum ersten Mal bei dem Universalgelehrten Marcus Tertius Varro vor, der 116 -27 v. Chr. lebte.[133] Die folgende Abbildung verdeutlicht, mit welchem Feld sich die natürliche Theologie allgemein gesagt befasst.

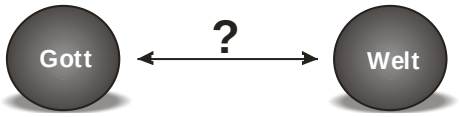


Abb. 53: Fragestellung der natürlichen Theologie

Es geht also um die Betrachtung des Verhältnisses zwischen Gott und der Welt. Dieses Gott-Natur-Verhältnis ist auch geschichtlich relevant und es wird immer wieder mit den Begriffen theos und physis in Verbindung gebracht.[134] Abgesehen von der groben Bestimmung des Begriffes kann natürliche Theologie aber auch noch mehr meinen, wenn man sich die Begriffsbestimmung genauer anschaut.

Erstes wird sie immer mit dem Wolffianismus in Verbindung gebracht, der von der Koexistenz von Vernunft und Offenbarung ausgeht. Der Wolffianismus, das System des Philosophen Christian Wolffs, kann unter anderem als eine religiöse Bewegung interpretiert werden, die den Gottesbeweis erbringen will. Zweitens kann man die natürliche Theologie im Sinne der Theologie Naturalis verstehen, die Gott *a priori* per Schlussverfahren beweisen sollen (vor der Schöpfung). Drittens kann die natürliche Theologie physiktheologisch verstanden werden. In diesem Rahmen soll Gott *a posteriori* (also nach der Schöpfung) durch Schöpfungswunder bewiesen werden.[135] In diesem Zuge wurden im Laufe der Geschichte alle erdenklichen Bereiche mit Theologie verknüpft. Ein Beispiel dafür liefert die Hydrotheologie des Johann Albert Fabricius. Sein Werk trägt folgenden Titel: „Hydrotheologie oder Versuch durch aufmerksame Betrachtung der Eigenschaften, reiche Austeilung und Bewegung der Wasser, die Menschen zur Liebe und Bewunderung ihres gütigsten, weisesten, mächtigsten Schöpfers zu ermuntern“. Man sieht also, dass die Natur direkt mit Gott in Verbindung gebracht wird. Die Natur wird als Gottes Schöpfung berachtet.[135]

Die Gottesbeweise nehmen in der natürlichen Theologie einen besonders großen Platz ein. Es ist natürlich selbstverständlich, dass die Existenz Gottes zunächst vorausgesetzt werden muss, um zur Betrachtung des Verhältnisses zwischen Gott und der Welt überzugehen. Im Rahmen dieses Gottesproblems sind drei verschiedene Standpunkte denkbar, wie Abbildung 54 veranschaulicht. Der Theismus geht von einem persönlichen, überweltlichen Gott aus, während der Atheismus die Existenz eines Gottes ablehnt. Der Skeptizismus hingegen vertritt eine Mittelstellung, indem er postuliert, dass der Mensch nicht erkennen kann, ob es Gott gibt oder nicht. Es sei völlig unnütz sich kritisch damit auseinander zusetzen, weil es grundsätzlich nicht möglich sei zu einer Erkenntnis zu kommen. Dabei nimmt der Grad, in dem Gott angenommen wird in der Abbildung von links nach rechst ab und umgekehrt.[136]

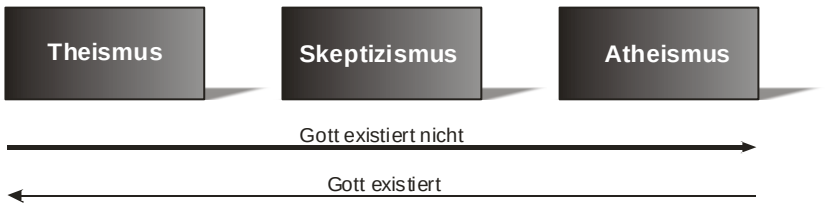


Abb. 54: Standpunkte gegenüber des Gottesproblems

Newton war sicherlich ein Vertreter des Theismus. Er nahm die Existenz Gottes als völlig selbstverständlich an. Wie gezeigt beschrieb Newton Gottes Schöpfungsakt mit Hilfe der Alchemie und auch den Ursprung der Himmelsbewegung schrieb Newton Gott zu. Doch im Laufe der Zeit, wurde Newtons Gotteslehre in Bezug auf die Natur widerlegt. Der Weltbezug, den Newton Gott zudachte geriet ins Wanken und wurde schließlich gänzlich abgeschafft.
Abbildung 55 fasst zusammen, welche Elemente der newton`sche Lehre nach und nach revidiert wurden.[137]

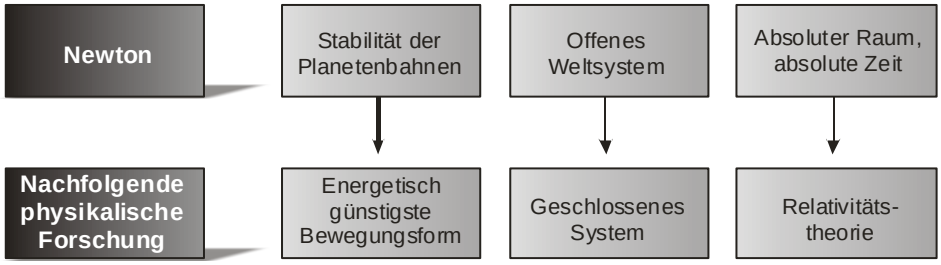


Abb. 55: Die Ablösung des Weltbezugs Gottes nach Newton

Newton postulierte, dass die Stabilität der Kreisbahnen auf Gott zurück zu führen sei. In der nachfolgenden physikalischen Forschung wurde diese These dadurch ausgeräumt, dass man annahm, die Materie strebe die energetisch günstigste Bewegungsform an. Das offene Weltsystem, in das ein Gott eingreifen konnte, wurde durch ein geschlossenes Weltsystem abgelöst. Zuletzt wurde Newtons absoluter Raum und seine absolute Zeit gegen die Relativitätstheorie ausgetauscht.
Newton trennte also Gott und Welt nicht dualistisch voneinander. Das machte ihn zu einem Vertreter der natürlichen Theologie. Und ebendiese natürliche Theologie wird auch bei der Betrachtung von Kant eine große Rolle spielen.

2.3 Neuzeit

2.3.1 Immanuel Kant

Immanuel Kant stellt nicht nur für die Philosophie und die Metaphysik einen Meilenstein dar, sondern trägt ebenso eine besondere Bedeutung im Diskurs zwischen Natur- und

Geisteswissenschaften. Auch wenn zu seiner Zeit (1724-1804) seine Werke zunächst keine große Beachtung fanden, ist sein Einfluss heute doch unbestritten. Zur Zeit der aufkommenden Romantik konnte Kants Kritizismus nur wenig Anklang finden. Auf der einen Seite entwickelten sich die Wissenschaften immer weiter, die Beobachtung und das Experiment gewannen an Bedeutung, während sich auf der anderen Seite die Naturphilosophie eher der spekulativen Verknüpfung der Tatsachen verschrieb. Kant hingegen gehört weder der einen, noch der anderen Seite an, was noch genauer zu diskutieren sein wird.[138]

Die wohl gemeinhin bekanntesten Fragestellungen Kants sind mit Sicherheit die neuen Grundfragen der Philosophie: Was kann ich wissen? Was soll ich tun? Was darf ich hoffen? Und viertens: Was ist der Mensch?[139, 140] Auf diese Fragen antwortet Kant in verschiedener Hinsicht und zieht auch unterschiedliche „Disziplinen“ zur Betrachtung hinzu. Schon in den neuen Grundfragen der Philosophie finden wir eine Aufteilung wieder, die erkennen lässt, dass es verschiedene Arten von Erkenntnis geben kann. Während Kant die Frage „Was kann ich Wissen?“ in seinem wohl berühmtesten Werk der *Kritik der reinen Vernunft* zu beantworten sucht, zieht er für die Frage nach dem Handeln die praktische Vernunft heran. „Was darf ich hoffen?“ ist schließlich eine Frage nach der Theologie bzw. der Religion(en).

Welchen Beitrag Kant nun aber im Genauen zur hier dargestellten Diskussion um die Entwicklung des Verhältnisses von Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft (im Besonderen der Ethik) leisten kann, wird im Folgenden diskutiert. Bevor näher auf Kants Naturwissenschaft, Metaphysik und Ethik eingegangen wird, muss zunächst der Erkenntnisprozess nach Kants Verständnis näher erläutert werden. Die Art und Weise, wie Kant den Vorgang des Erkenntnisgewinns versteht, ist entscheidend für das Verständnis seiner Naturwissenschaft und Ethik und letztlich maßgeblich für das Verhältnis der Disziplinen untereinander.

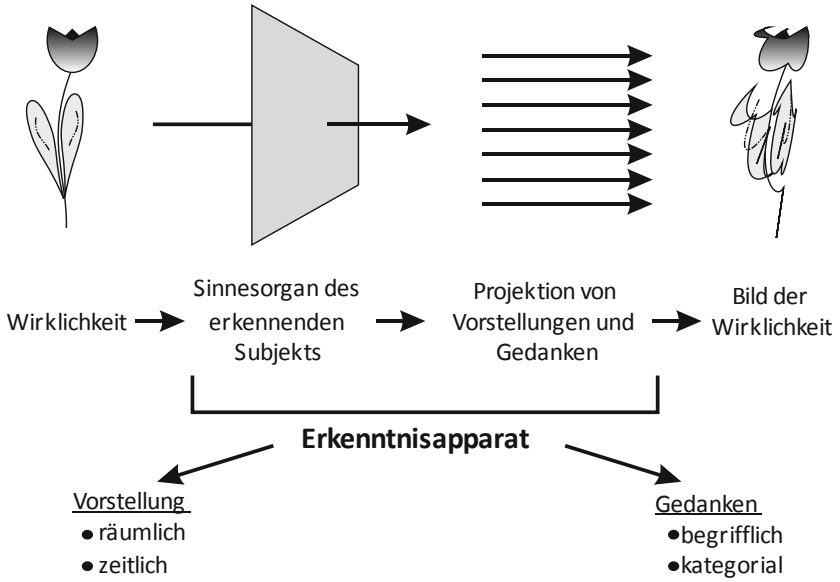


Abb. 56: Erkenntnisprozess nach Kant

Kant ist der Ansicht, dass nur Denken und Erfahren gemeinsam zu echter Erkenntnis führen. Grundlegend stellt er sich jedoch die Frage, warum wir ein Ding überhaupt erkennen. Laut Kant muss berücksichtigt werden, dass (a) Empfindungsqualitäten keine Eigenschaften des Gegenstands sind, den wir zu erkennen suchen und das (b) auch die Eigenschaften, die wir der Naturwirklichkeit zurechnen nur subjektiv sind und sein können.[141] Der Prozess des Erkennens selbst erfolgt demnach über mehrere Schritte, die in Abbildung 56 verdeutlicht sind.

Die Wirklichkeit (also das „Ding“) wird mit Hilfe der Sinnesorgane des erkennenden Subjektes wahrgenommen. Nach einer Projektion von Vorstellungen und Gedanken wird so ein Bild der Wirklichkeit erzeugt, welches die Wirklichkeit entsprechend subjektiv abbildet, selbst aber nicht Wirklichkeit ist. Unter diesen Gesichtspunkten gewinnt das Sprichwort „Die Welt mit anderen Augen sehen“ eine völlig neue Bedeutung. Das Bild der Wirklichkeit verändert sich dann, je nachdem, mit welchen Augen wir die Welt betrachten. Einfach ausgedrückt: das was wir als erkennendes Subjekt als Konstitution in jeder Hinsicht mitbringen, bestimmt wie wir Wirklichkeit erkennen. Ein Kind sieht die oben gezeigte Blume mit anderen Augen als ein Erwachsener. Ein anschauliches Beispiel ist ein bekanntes Bild des Künstlers Escher.

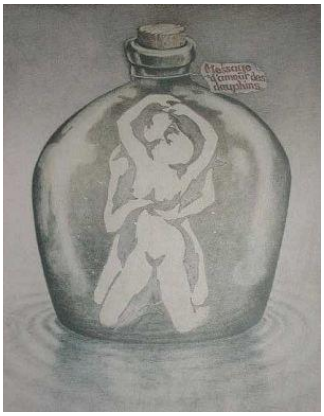


Abb. 57: Escher[142]

Erwachsene erkennen in der Regel als erstes ein Liebespaar, unschuldige Kinderaugen erkennen die Delfine. Natürlich handelt es sich bei den Bildern von Escher um optische Illusionen, aber trotzdem soll dieses Beispiel verdeutlichen, dass die Wahrnehmung der Wirklichkeit subjektiv ist, was der Kernaussage Kants entspricht.

Der Erkenntnisapparat, also das, was die Wirklichkeit subjektiv macht, ist dabei in zwei verschiedene Bereiche zu untergliedern (vgl. Abb. 58). Sobald wir die Wirklichkeit mit unseren Sinnen wahrnehmen, entsteht in uns eine Vorstellung, die räumlich oder zeitlich sein kann und ein Gedanke der begrifflich oder kategorial möglich ist.[141] Diese Vorstellungen und Gedanken sind natürlich von unserer persönlichen Konstitution geprägt und beeinflussen deshalb das Bild, dass wir uns von der Wirklichkeit machen auf verschiedene Weise. Kant unterscheidet dabei zwei verschiedene Arten des Erkenntnisvermögens, wie folgende Abbildung zeigt:

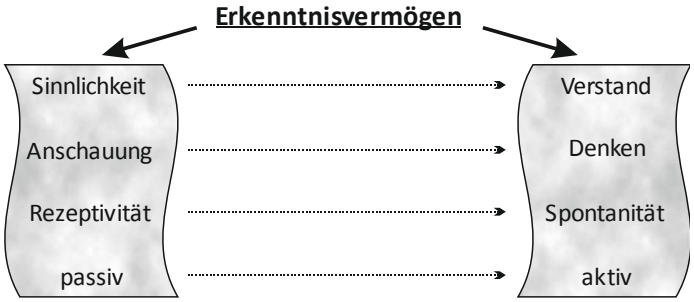


Abb. 58: Erkenntnisvermögen nach Kant

Die Sinnlichkeit entspricht der Anschauung und hat rezeptiven Charakter, sie kann deswegen nur passiv sein. Der Verstand hingegen ist verantwortlich für das Denken. Denken entspricht nach Kants Verständnis einer spontanen Handlung und ist deswegen aktiv. Sinnlichkeit ist daher das Vermögen Vorstellungen zu empfangen, der Verstand ist aber das Vermögen, Vorstellungen hervor zu bringen.[141]

Dabei führt der erste Schritt zur Erkenntnis zunächst über die Sinnlichkeit. Das Ding tritt an die Sinnesorgane heran und verursacht eine Affektion. Dieser Vorgang ist aus der Perspektive des Subjekts passiv. Damit entspricht die Sinnlichkeit der Fähigkeit zur Anschauung, die, wie bereits erwähnt, entweder räumlich oder zeitlich sein kann. Wir können dann ein Ding entweder rein empirisch oder anhand seiner Form (Ausdehnung und Gestalt) erkennen. Alles, was uns durch diese Anschauung gegeben ist, muss anschließend gedacht werden. Psychologisch gesehen bedeutet das eine willentliche Hinwendung zu dem Reiz, eine Fokussierung der Aufmerksamkeit. Kant beschreibt den Prozess als spontane und aktive Reaktion des Verstandes. Er führt dazu aus: „Gedanken ohne Inhalt sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind“.[140] Damit meint Kant, dass der Erkenntnisprozess weder auf die sinnliche Anschauung, noch auf den Verstand verzichten kann. Ohne die Anschauung fehlt dem Verstand der Inhalt, das Material, das gedacht werden soll. Ohne den Verstand bleibt der Inhalt empirisch und damit blind für wahre Erkenntnis.

Wie Aristoteles entwirft Kant Kategorien, anhand derer die Wirklichkeit erkannt werden soll. Während Aristoteles sich auf 4 Kategorien beschränkt (vgl. Abbildung 59), entwirft Kant eine Kategorientafel, wie sie in der folgenden Abbildung in Kürze dargestellt ist.[140]

Quantität	Einheit	Vielheit	Allheit
Qualität	Realität	Negation	Limitation
Relation	Inhärenz und Subsistenz	Kausalität und Dependenz	Gemeinschaft
Modalität	Möglichkeit oder Unmöglichkeit	Dasein oder Nichtsein	Notwendigkeit oder Zufälligkeit

Abb. 59: Kategorientafel nach Kant

Demnach wird die Wirklichkeit in vier Kategorien erkannt, die jeweils drei Ausprägungen haben können. Die vier Kategorien erinnern auf den ersten Blick an die aristotelischen. In Bezug auf einen Gegenstand kann von Quantität gesprochen werden, wenn es um Einheit, Vielheit oder Allheit geht. Qualitäten werden in Realität, Negation und Limitation eingeteilt. Relationen äußer sich wie die dritte Zeile zeigt in verschiedenen Größen wie zum Beispiel der Inhärenz oder Kausalität. Modalitäten werden durch Gegensätze versinnbildlicht. Kant postuliert, dass sich jedes Ding mit Hilfe der Kategorientafel erkennen lässt und beansprucht zudem die Vollständigkeit der Kategorien. Aristoteles hingegen haben nur die Kategorien aufgeführt, die ihm einfielen.[140] Denken bedeutet laut Kant die Kategorien mit dem Verstand anzuwenden. Darin unterscheidet sich die Logik Kants von der des Aristoteles. Die Kategorien Kants sind Begriffe, die in der Erfahrung eine Bedeutung haben und deren Anwendung zu echter Erkenntnis führt. Gleichzeitig verwendet Kant den Begriff der Ideen. Ideen sind im Gegensatz zu den Kategorien Begriffe, die keine Entsprechung in der Erfahrung haben. Der Begriff der Idee wurde vor allem im antiken Umfeld durch Platon geprägt (vgl. Abschnitt 2.1.2). Auch bei Platon sind Ideen nicht durch die Anschauung der Wirklichkeit erfahrbar. Das Erkenntnisziel der Ideen liegt nach Kant jenseits der Erfahrungen, nämlich in der Metaphysik. Laut Kant kann demnach durch die Ideen nichts erkannt werden.[141]

Kategorien sind Relationsbegriffe, Verknüpfungsbegriffe und Verstandesbegriffe. Sie dienen dazu das Erscheinende mit der Erfahrung zu verbinden. Dieser Vorgang wird als *synthesis* bezeichnet. Das Verbinden von Erfahrung und Gegebenem kann allerdings auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen als kategoriale Verbindung (Urbild), zum anderen als sprachliche Verbindung (Abbild).Dabei spielt die Gegenläufigkeit des Erkenntnisprozesses eine wichtige Rolle. Wir erkennen zuerst die Wirkung und schlussfolgern daraus auf die Ursache. Dieser Sachverhalt lässt sich an einem einfachen Beispiel deutlich veranschaulichen. Bei der Arbeit im Labor erkennen wir zum Beispiel zunächst eine Farbänderung und schließen daraufhin auf eine Ursache, die der Reaktion zu Grunde liegen könnte (Komplexierung? Red-Ox-Reaktion?...). Wir erkennen also zuerst das Erkenntnisergebnis (Urteil) und schließen im nächsten Schritt, dass eine Kategorie angewendet wurde, mit deren Hilfe das anschließende Urteil formuliert werden kann. Darum entspricht jedes Urteil einer Kategorie.[140, 141]

Auf Grund des bisher Gesagten stellt sich die Frage, wie der Mensch die Anschauung denkt. Dazu verwendet der menschliche Verstand laut Kant die Subsumtion. Subjekte lassen sich demnach Prädikaten zuordnen (vgl. Abb. 60).

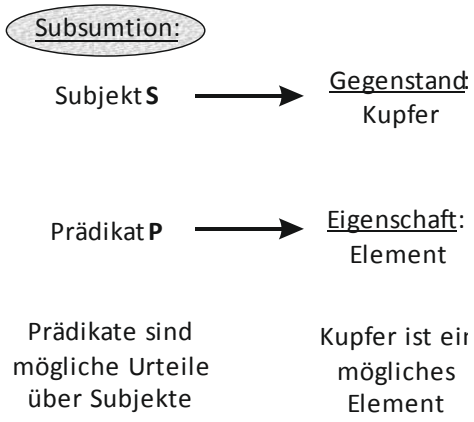


Abb. 60: Gegenstand-Eigenschaft-Verhältnis

Dem Subjekt S wird ein Prädikat P zugeordnet. Das Subjekt beschreibt den Gegenstand, beispielsweise Kupfer. Das Subjekt Kupfer wird einem übergeordneten Prädikat zugeordnet, beispielsweise den Elementen. Demnach sind Prädikate mögliche Urteile über Subjekte (Kupfer ist ein mögliches Element). Durch diese Subsumtion wird der Begriff erst erkannt. Erkennen funktioniert also immer im Vergleich zu schon Bekanntem. Der Verstand ist in der Lage, solche Subsumtionen durchzuführen, also zu urteilen. So beschreibt Kant den Sachverhalt folgendermaßen: „Der Verstand ist das Vermögen zu urteilen“.[140] Grundvoraussetzung dafür, dass die Subsumtion stattfinden kann, ist, dass ein Zusammenhang zwischen dem Gegenstand und der Eigenschaft in Form einer Kategorie erkannt wird. Daraus ergeben sich zwei Stufen des Erkennens. Zunächst wird das Gegenstand-Eigenschaft-Verhältnis (Subjekt-Prädikat-Verhältnis) erkannt. Anschließend wird die Schlussfolgerung in Form eines Urteils (S ist ein mögliches P) ausgesprochen.[140, 141]

Aber wie schafft es das Erkenntnissubjekt von einer Anschauung auf eine Kategorie zu schließen? Kant geht dabei einen Schritt zurück und erklärt die Ursache der Dinge:[140]

„Die Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrungen überhaupt sind zugleich Bedingungen der Möglichkeit der Gegenstände und Erfahrungen und haben darum objektive Gültigkeit in einem synthetischen Urteil *a priori*.“

Das heißt: Ein Ding wird erst durch den Erkenntnisprozess zu dem, was es ist (vgl. Abbildung 61). Um von den Anschauungen auf Kategorien zu schließen, sind dann laut Kant zum einen Schemata verantwortlich, die zeitliche Strukturen aufdecken, zwischen dem Anschaulichen und Begrifflichen vermitteln und nicht nur notwendig sondern auch Voraussetzung sind. Zum Anderen benötigt der Verstand ein System der Grundsätze, denn zu jeder Kategoriengruppe gibt es eine Gruppe von Grundsätzen. Überdies kann jeder Gegenstand in seiner Erscheinung in *noumena* und *phaenomena* eingeteilt werden.[141]

Eine der wichtigsten Grundlagen jedoch, die für den Erkenntnisgewinn nach Kant maßgeblich ist, ist die Unterscheidung von Erkenntnis *a priori* und Erkenntnis *a posteriori*.[20, 143]

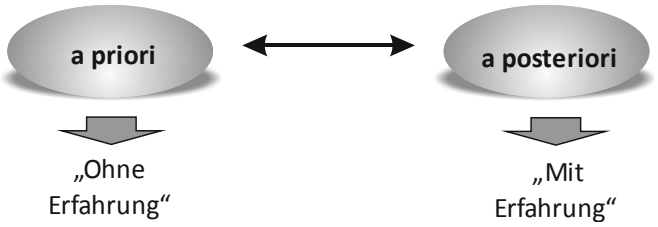


Abb. 61: *a priori* vs. *a posteriori*

Erkenntnisse *a priori* sind demnach unabhängig von der Erfahrung und unabhängig von den Sinnen. Erkenntnisse *a posteriori* sind empirische Erkenntnisse, die aus Erfahrungen heraus existieren. Inwieweit diese Unterscheidung nicht der Aussage „Gedanken ohne Inhalt sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind“[140] wiederspricht, wird sich erst zeigen, wenn geklärt wurde, wie der Erkenntnisvorgang genau funktioniert und welche Elemente apriorisch bzw. aposteriorisch sind. Demnach beginnt alle Erkenntnis mit der Erfahrung. Die Erfahrung hat also zeitlichen Vorrang. Dabei stellt sich die Frage, wie reiner Apriorismus überhaupt möglich sein soll, wenn doch alles mit Erfahrung und Anschauung beginnt. Kant nennt in diesem Zuge zwei verschiedene Merkmale des reine Apriorismus: erstens handelt es sich dabei um die strenge Notwendigkeit (in Anlehnung an Platon und Aristoteles). Durch Erfahrung werden nur Tatbestände erkannt und nicht die Unmöglichkeit, dass etwas auch anders sein kann, als in der Realität erfahren. Das zweite Merkmal ist die unbeschränkte Allgemeinheit. Durch die Erfahrungen werden ebenfalls nur Tatbestände erkannt und nicht die Unmöglichkeit, dass etwas eine Ausnahme von der Regel sein könnte, etwas, dass so in der Realität nicht auftritt.[143]

Abgesehen von der Unterteilung in *a priori* und *a posteriori* trifft aber Kant zunächst noch eine weitere Unterscheidung: er differenziert die analytischen von den synthetischen Urteilen. Analytische Urteile, auch Erläuterungsurteile genannt, erkennen, dass ein Prädikat P in einem Subjekt S versteckt sind, bzw. dass ein Prädikat P zu einem Subjekt S gehört. Die Verknüpfung von S und P wird durch Identität gedacht. Die Prädikate fügen so nichts zum Begriff des Subjekts hinzu, sondern zergliedern ihn in seine Teilbegriffe. Bei synthetischen Urteilen hingegen (Erweiterungsurteile) liegt das Prädikat P außerhalb des Subjekts S, ist aber mit ihm verknüpft. Die Verknüpfung von P und S wird ohne Identität gedacht und das Prädikat fügt etwas zum Begriff des Subjekts hinzu.[20] Das Gesagte lässt sich, wie die folgende Abbildung zeigt, anschaulich auf ein einfaches Beispiel übertragen.

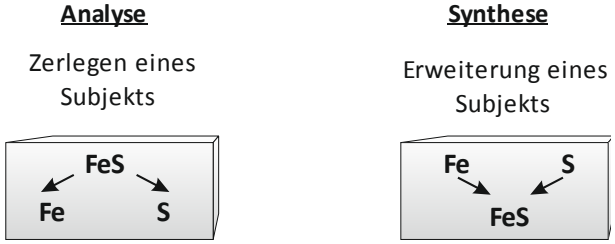


Abb. 62: Analyse und Synthese

Die Begriffe der Analyse und Synthese sind im chemischen Kontext bekannt. Analog dazu verstehen sich die Begriffe Kants. Bei einer Analyse wird ein Stoff zerlegt, bei einer Synthese findet eine „Erweiterung“ statt. Analytische und Synthetische Urteile sind aber nicht nur das Zerlegen oder verbinden von Bedeutungsinhalten. Analytische Urteile erläutern das Wissen über ein Subjekt mit einem Prädikat. Zum Beispiel wird durch die Zergliederung des Subjekts „Körper“ festgestellt, dass es ein Prädikat „ausgedehnt“ enthält. Durch analytische Urteile werden empirische Tatbestände dargestellt. Dabei helfen sogenannte Bedeutungsregeln. Ein Beispiel für eine Bedeutungsregel könnte sein: Ein Molekül ist definiert als eine Verbindung aus zwei oder mehreren Atomen. Ein entsprechendes synthetisches Urteil würde lauten: Jedes Molekül besteht aus Atomen. In beiden Fällen handelt es sich um Urteile. Da im Falle eines analytischen Urteils nur bereits bekanntes erläutert wird, kann es nur auf schon bekannte Sachverhalte angewendet werden. Alles Neue, das hinzutritt, würde eine Erweiterung hervorrufen und somit aus dem analytischen in das synthetische übergleiten. Synthetische Urteile sind demnach alle Urteile, die nicht nur mit Hilfe der Logik für wahr befunden werden könne. Das anschauliche Wissen wird um ein neues Prädikat erweitert.[143]
Insgesamt ergeben sich demnach vier verschiedene Kombinationsmöglichkeiten:

a.) Analytische Urteile *a posteriori*
Die Art von Urteile ist logisch nicht denkbar, weil aposteriorische Behauptungen nur mit Erfahrungen möglich sind. Dass wiederspricht jedoch dem analytischen Aspekt.

b.) Analytische urteile *a priori*
Analytische Urteile *a priori* sind logisch denkbar. Analytisch meint ja, dass das Subjekt das Prädikat schon hat. Es braucht also für eine Erweiterung keine Empirie mehr.

c.) Synthetische Urteile *a posteriori*
Synthetische Urteile sind zwangsläufig aposteriorisch, weil empirische Urteile in jedem Fall synthetisch sein müssen, da man etwas Neues erkennt.

d.) Synthetische Urteile *a priori*
Urteile dieser Art sind problematisch. Begrifflich sind sie möglich, aber es ist unklar, ob sie auch praktisch realisierbar sind. Die dahinterstehende Frage lautet: Kann es eine Erkenntniserweiterung ohne Erfahrung geben? Die Antwort auf diese Frage hat weitreichende Konsequenzen, denn in der Naturwissenschaft des 18. Und 19. Jahrhunderts soll es diese Art von Erkenntnis geben. Außerdem entscheidet die Antwort darüber, ob die Metaphysik als Wissenschaft möglich ist, denn sie geht nicht aus der Erfahrung hervor, soll aber die menschliche Erkenntnis erweitern (vgl. unten).[143] Kant jedoch stellt diese Frage nicht nur für die Metaphysik, sondern für alle theoretischen Wissenschaften. Er geht davon

aus, dass es einen Erkenntnisgewinn geben kann, der durch die Erfahrung bestätig wird, aber nicht unbedingt auf sie zurückgreifen muss. Zu dieser Art von Erkenntnis zählen beispielsweise alle Sätze der Mathematik.[143]

Wie genau ein synthetisches Urteil *a priori* zu verstehen ist, zeigt die folgende Abbildung:

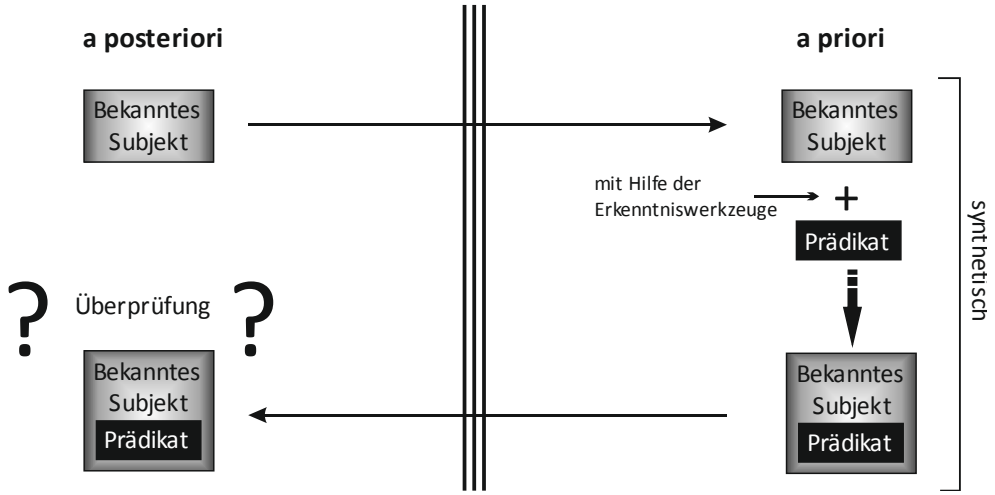


Abb. 63:synthetische Urteile *a priori*

Wie Kant selbst sagt, geht jede Erkenntnis vom bekannten Subjekt aus, dass (hier links) auf der Seite des Aposteriori zu finden ist. Dieses bekannte Subjekt wird sozusagen auf die Apriorische Seite exportiert und mit Hilfe der Gedankenwerkzeuge bearbeiten. Es erfolgt eine Verknüpfung mit einem Prädikat, ein synthetischer Vorgang. Anschließend wird das Urteil an der Realität und den Erfahrungen überprüft. Das heißt: synthetische Urteile *a priori* enthalten Anteile aus der Erfahrung. Der eigentliche Erkenntnisgewinn ist aber nicht das Erkennen etwas *a posteriori* bzw. das empirische Erkennen von Erfahrung, sondern die Verknüpfung (das synthetische Urteil). Und diese synthetische Verknüpfung erfolgt *a priori*.
Dem Verständnis liegt also die Wahrnehmung zu Grunde. Neue Erkenntnis kommt nur dann zu standen, wenn der Verstand in die Erfahrung und die Anschauung eingreift. Nur zusammen kommt es zur Erkenntnis: man braucht die Sinne um die Dinge wahrzunehmen und den Verstand um die Dinge zu denken. Kant bezeichnet das als kopernikanische Wende der Philosophie.[20]

Diese zugrundeliegenden Betrachtungen den Erkenntnisgewinns in der kantschen Philosophie betreffend, sollen nun im Hinterkopf behalten werden, wenn es im Folgenden um Kant und die Naturwissenschaft geht. Auch wenn es nicht das Erste ist, was man spontan von Kant erwartet, so sind doch viele seiner Arbeiten naturphilosophisch geprägt. So beschäftigte sich Kant mit Physik, Kosmologie, Meteorologie, Elektrizität, Grenzfragen zeitgenössischer Chemie, Newtons Theorie des Lichts, Descartes Materiebegriff sowie mit Naturgeschichte.[139]

Auch in seinen Antinomien spiegelt sich sein naturwissenschaftliches Interesse wieder. In der ersten Antinomie beschäftigt sich Kant mit dem kosmologischen Raum-Zeit-Problem, also mit der Frage nach den äußeren Grenzen des Raumes und dem ersten Anfang der Zeit. Die zweite Antinomie hat die Unteilbarkeit oder unendliche Teilbarkeit der Materie zum Thema, während sich die dritte Antinomie mit der Frage auseinandersetzte, ob alles Sein endlos auf eine Kausalreihe zurückgeführt werden kann. Ob die Welt nur durch Zufall oder aus Notwendigkeit existiert, diskutiert die 4 Antinomie.[140, 141]

Alle Antinomien in diesem Rahmen auszudiskutieren, würde zu weit führen. Anhand der zweiten Antinomie soll jedoch kurz darauf eingegangen werden, wie diese aufgebaut sind. Jede Antinomie besteht aus einer These und einer Antithese. Die These im Fall der zweiten Antinomie lautet: Jede Substanz besteht aus einfachen Teilchen. Die Antithese dazu lautet wie folgt: Alle Dinge der Welt sind ins Unendliche teilbar, es gibt keine einfachen Teile.[140]

Um Kants Idee von Naturwissenschaft jedoch genauer zu erläutern, ist es wichtig den Naturbegriff des 18. Jahrhunderts zu verstehen. Neben die humanistischen Fächer trat die Naturwissenschaft, die sich durch einen starken Anwendungsbezug auszeichnete. Der Naturbegriff ist demnach mathematisch-funktional, was das antike Weltbild verstärkt ablöste.[139] Die Art und Weise, wie in der Naturwissenschaft gedacht wurde, beeinflusste, wie man die Welt erkannte.

Abb. 64: Erkennen der Welt

Der, wie in den vorangegangenen Kapiteln schon beschrieben, aufstrebenden Empirismus erfasste die Welt durch das Anschauen. Kants Apriorismus erfasst die Welt jedoch durch Denken. Man verlässt die sinnlich-anschaulichen Gegenstände. Kant nimmt diesen Trend auf und entwickelt einen methodisch-funktionalen Apriorismus.[139]

Kants Überlegungen gewinnen auch Wichtigkeit in Bezug auf die naturwissenschaftliche Methode. Kant postuliert, man könne sich nicht länger auf die reine Anschauung verlassen (also seine Erkenntnis nicht nur auf Empirie und Experimente stützen). Außerdem gibt es laut Kant nichts, was nur *a priori* gedacht werden kann (also etwas, was nur Theorie ist). Die Theorie und die Empirie sind also beide wichtig, um zu Erkenntnis zu gelangen. Daraus folgt, dass alles, was bisher nur rein empirisch bewiesen wurde, hinfällig ist.[20] Bacons empirische Befunde wären nach Kants Maßstäben also nicht wissenschaftlich tragfähig. Dasselbe gilt natürlich auch für rein theoretische Erkenntnisse. Der Unterschied zu Kant besteht darin, dass sogenannte rein theoretische Erkenntnisse oft *de facto* nicht nur rein theoretisch sind, sondern auch empirische Elemente enthalten. Kants Apriorismus hat also eine große Auswirkung auf Anerkannte

naturwissenschaftliche Methoden, die von nun an in Frage gestellt werden. Kants Beschäftigungen mit Naturwissenschaft waren auch nicht nur mathematisch oder induktiv-experimentell. Auch Kants Theoriebegriff war sehr stark naturwissenschaftlich geprägt. Dabei legt Kant großen Wert darauf, dass (a) Ergebnisse empirisch verifizierbar sein müssen, dass (b) Ergebnisse kausal erklärbar sein müssen und dass es sich (c) um systematische Begründungen handelt, die erweitert werden können.[139]

Kant sucht also nicht mehr nach dem Wesen der Dinge allein, sondern nach Beziehungen und Wirkungen zwischen den Dingen und übt damit Einfluss auf die Methode der Naturwissenschaft aus.[17] Er beobachtete die Entwicklung des Naturbegriffes in seiner Zeit und reagierte darauf. Der Naturbegriff wurde im 18. Jahrhundert vielfältig diskutiert. Zum einen als „äußere Natur" oder „Natur des Menschen" und zum anderen als „natürliche Moral". Die alltäglichen Vorgänge gewannen außerdem Aufmerksamkeit und das naturwissenschaftliche Denken wurde an diesem Alltäglichen ausgerichtet, was einen neuen analytischen Geist begründete. Kant versuchte diesen analytischen Geist zu analysieren und jene Fragen zu beantworten, die nicht von den Naturwissenschaften beantwortet werden konnten. Daher beschäftigte er sich mit dem Menschen, vor allem mit der Frage, wie sein gesellschaftliches von einem analytischen Denken beeinflusst wurde, während sich viele prominente Wissenschaftlicher dieser Zeit dem analytischen Denken zuwandern und der Mensch aus anthropologischer Sicht in den Hintergrund rückte.[139]

Durch die Fokussierung auf alltägliche Dinge wurde der Anwendungsbezug von Forschung immer wichtiger. Heute ist dieses Phänomen allgemein bekannt. Es scheint, als würden diejenigen Wissenschaften mit dem größten Anwendungspotential das meiste Ansehen genießen. Das Besondere an der Naturwissenschaft war, dass sie in der Lage war, Dinge zu systematisieren und zu mathematisieren, die nicht wahrnehmbar waren. So ist es nicht verwunderlich, dass die Naturgesetze an Wichtigkeit gewannen.[139]

Der oben schon näher beschriebene Apriorismus war natürlich auch für die Naturwissenschaft ausschlaggebend. Zu Kants Zeit galt allgemein die Ansicht in naturwissenschaftlichen Kreisen, dass die Naturwissenschaft prinzipiell synthetische Urteile *a priori* enthält.[20] Kant selbst rechnete zum Beispiel bestimmte Sätze der Mathematik zu synthetischen Urteilen *a priori*. Ein einfaches Beispiel, wie synthetische Urteile *a priori* in den Naturwissenschaften möglich sind, wäre folgendes: Zunächst bezieht man sich auf einen schon bekannten Gegenstand, zum Beispiel betrachtet man eine bereits bekannte chemische Verbindung. Dann tritt man aus dem Bekannten heraus und bedient sich seiner Gedankenwerkzeuge. Es können so Hypothesen über weitere Eigenschaften der Verbindung aufgestellt werden (Verbindung zwischen Subjekt und Prädikat), zum Beispiel ihrem Verhalten bei tiefen Temperaturen. Die neue Erkenntnis entsteht dann daraus, dass man postuliert, wie sich diese bekannte Verbindung bei tiefen Temperaturen verhält. Laut Kant müssen solche Hypothesen dann aber an der Wirklichkeit überprüft werden, d.h. im Labor würde man nun praktisch ausprobieren, was passiert, wenn man die Verbindung abkühlt. In den Naturwissenschaften sind synthetische Urteile *a priori* möglich. Dabei wird das schon bekannte *a priori* und synthetisch erweitert. Das gilt natürlich nicht nur für die Chemie sondern auch für andere Disziplinen. Kant macht deutlich, dass es

gerade eine Besonderheit der Naturwissenschaft ist, zu solchen synthetischen Urteilen *a priori* fähig zu sein.[143]

Aber warum ist es überhaupt für die Naturwissenschaft bedeutsam, dass man ihr synthetische Urteile *a priori* zurechnen kann? Kants Philosophie ist ein wichtiger Knotenpunkt für z.B. die Physik. Er postuliert (als Letzter!) eine sichere Grundlage der Erkenntnis, die immer gültig sein soll. Kant sorgte dafür, dass Physiker wie Planck oder Helmholtz davon ausgingen, dass es *eine* wahre physikalische Erkenntnis geben kann. Kant begründet diese eine und wahre Erkenntnis darauf, dass unsere „Erkenntniswerkzeuge", die sich in Zeit, Raum und Kategorien manifestieren schon *a priori* da gewesen sind und nicht von der Anschauung abhängen.[20] Nur das, was *a priori* schon da ist und nur Erkenntnis *a priori* kann als gesichert angesehen werden, denn das, was empirisch erfahren wird, ist subjektiv und kann keine Wahrheit sein. Dementsprechend räumt Kant der Mathematik einen hohen Stellenwert ein und erklärt, dass Naturlehre nur dann Wissenschaft sein kann, wenn sie Mathematik enthält.[144] Diese Vorstellung ist in den heutigen Naturwissenschaften etabliert. Publiziert werden „harte Daten", die sich mit Zahlen beschreiben und quantitativ reproduzieren lassen. Es genügt nicht mehr nur zu beobachten. Ergebnisse müssen quantifizierbar sein. Dieser strenge Bezug auf die Mathematik und die daraus folgende Methode ist wohl das, was die heutige Naturwissenschaft am stärksten von den Geisteswissenschaften trennt.

Die Quantifizierung der Ergebnisse im wissenschaftlichen Bereich wurde wie bereits besprochen (vgl. Abschnitt 2.2.1) schon von Galilei eingeleitet. Da auch Newton viele klassische Gesetze aufstellte und Kant ebenso versuchte Elementarsätze zu formulieren, könnte man auf den ersten Blick meinen, dass beide Wissenschaftler einem gemeinsamen Ziel entgegenstrebten. Doch dem war nicht so. Kant suchte nach dem absoluten Wissen, dass sich in Apriorismen finden lassen sollte. Newton hingegen propagierte einen empirischen Realismus. Seit Newton wurde die Naturwissenschaft vom Anticartesianismus beherrscht, was einer Absage an die Metaphysik gleich kam.[139] Kant strebte jedoch etwas an, dass über eine umfassende systematisierungsfähige Theorie hinausging. Kant war an den wahren Erkenntnissen interessiert, die nur *a priori* erkannt werden können. Bestenfalls seien diese Erkenntnisse an der Empirie verifizierbar. Aber für Kant war es wissenschaftlich nicht haltbar, sich nur auf die Empirie zu verlassen. Er wollte Newtons Phänomenalismus mit dem metaphysischen Rationalismus vereinen.[139] Kant und Newton waren sich allein darin einig, dass die Empirie Prüfmaß für die Erkenntnis sei und dass man nur die Wirkung, nicht aber das Ding an sich erkennen könne.[138]

Kant teilt schließlich die Naturwissenschaft in verschiedene Bereiche ein. Diese Einteilung hat eine große Bedeutung für das Verständnis von Naturwissenschaft. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Einteilung der Naturwissenschaften nach Kant:[144]

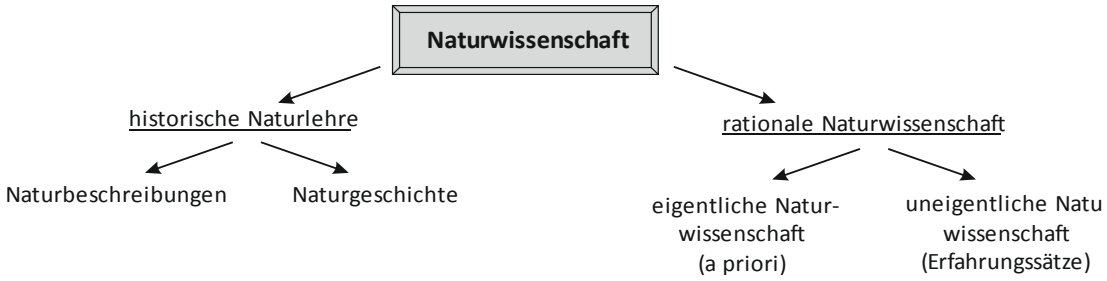


Abb. 65: Einteilung der Naturwissenschaften nach Kant

Laut Kant muss die Naturwissenschaft in historische und rationale Naturwissenschaft getrennt werden. Historische Naturlehre widmet sich dabei dem Ordnen und Kategorisieren. Fakten werden systematisch geordnet, die Natur wird beschrieben und in Klassensysteme eingeteilt. Die Naturgeschichte beschäftigt sich darüber hinaus mit den zeitlichen und lokalen Abläufen, die aber ebenfalls beschreibend festgehalten werden.[145] Die rationale Naturwissenschaft unterteilt Kant in eigentliche und uneigentliche Naturwissenschaft. Naturwissenschaft im eigentlichen Sinne geht *a priori* vor, ihre Gewissheiten sind apodiktisch. Die uneigentliche Naturwissenschaft verlässt sich auf empirische Gewissheiten.[144]

Durch diese Einteilung werden heute anerkannte Wissenschaften als nicht-wissenschaftlich bezeichnet. Dazu gehört zum Beispiel die Biologie, die zur historischen Naturlehre gezählt wurde. Vor allem spricht Kant hier die Biologie von Linné an, der die Botanik und Tierwelt kategorisierte. Kant erklärt, dass nicht genau klar sei, nach welchen Kriterien eine solche Kategorisierung vorgenommen wurde, weshalb eine solche Biologie zur nicht-wissenschaftlichen Naturlehre zu zählen sei.[145]

Eine weitere Wissenschaft, die durch die kantische Einteilung zur Nicht-Wissenschaft degradiert wurde, ist die Chemie. In seinen metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft beschreibt Kant die Chemie wie folgt:[144]

„Wenn diese Gründe oder Prinzipien in ihr, wie z.B. in der Chemie, doch zuletzt bloß empirisch sind, und die Gesetze, aus denen die gegebenen Facta durch die Vernunft erklärt werden, bloß Erfahrungsgesetze sind, so führen sie kein Bewußtsein ihrer Notwendigkeit bei sich (sind nicht apodiktisch-gewiß) und alsdenn verdient das Ganze in strengem Sinne nicht den Namen einer Wissenschaft, und Chemie sollte daher eher systematische Kunst, als Wissenschaft heißen.“

Weiterhin betont Kant, die Chemie habe zwar eine Systematik, aber sie sei letzten Endes nur empirisch, weil sie ihre Sätze nicht *a priori* erkennt.[145] Der hauptsächliche Grund, warum Kant die Rationalität der Chemie nicht anerkennt, ist, weil die in der Chemie wirkenden Anziehungskräfte nicht so mathematisch erfassbar waren wie die Bewegung in der Physik. Heute kann man natürlich auch die Anziehungskräfte zwischen kleinsten Teilchen mathematisch erfassen. Die physikalische Chemie tut dies beispielsweise mit Hilfe der van-der-Waals-Gleichung. Auch in der Physik spielen

Anziehungskräfte eine bekannt große Rolle, nicht nur im mechanischen Maßstab, wenn es um Gravitationen geht, sondern vor allem auch in der Quantenmechanik.
Das heißt, rational ist eine Naturwissenschaft laut Kant nur dann, wenn ihre Erkenntnisse *a priori* gewonnen werden. Darum kann die uneigentliche Naturwissenschaft eigentlich keine rationale Wissenschaft sein, aber immerhin doch Wissenschaft. Das Ziel einer Lehre von der Natur muss es aber sein, in eine rationale Naturwissenschaft zu münden, da der Naturbegriff für Kant unweigerlich mit dem Begriff des „Gesetzes" verbunden ist. Alles, was empirisch heraus gefunden wurde, verlangt also auch nach einem Gesetz, nach einem Gesetz *a priori*.[144] Dieses Gesetz *a priori* ist in der Chemie noch nicht etabliert. Obwohl zu Kants Zeit die Chemie an sich eine große Entwicklung erlebt, etwa durch die Einführung des Elementenbegriffs, erkannte Kant die Bedeutung der Chemie nicht und erachtete sie als systematisch wenig wertvoll. Er beschäftigte sich hauptsächlich mit mathematischen Naturwissenschaften, was seinem Verlangen nach synthetischen Urteilen *a priori* entsprach. Anwendungsbezogene Naturwissenschaften interessierten Kant nur wenig, vor allem, da er während des Aufkommens der ersten Technologien schon sehr in seine philosophischen Studien vertieft war.[139]
Dass sich Kant mit Naturwissenschaften, seien es nun praktische oder theoretische, beschäftigt hat, dass er eine Einteilung der Naturwissenschaften postulierte und sich damit auseinandersetzte, was Naturwissenschaft eigentlich ist, hat natürlich auch eine Auswirkung auf das Verhältnis von Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft (bzw. Ethik).

Obwohl oder gerade weil Kant der Meinung war, dass die Mathematik die Naturwissenschaft zur Wissenschaft mache und ihr die Möglichkeit gebe Urteile *a priori* zu fällen, beschäftigt sich Kant ebenso intensiv mit der Metaphysik. Die Metaphysik stand gerade zu Kants Zeit nicht mehr im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit. Sie wurde durch die mathematische Naturwissenschaft verdrängt.[139] In Hinsicht auf Kants gerade besprochene Annahmen über die Naturwissenschaften, stellt er sich die Frage, wie Metaphysik möglich sein kann. Dass die Naturwissenschaft möglich ist, wird durch ihre Wirklichkeit bewiesen. Bei der Metaphysik ist das jedoch anders. Man muss die Möglichkeit der Metaphysik anzweifeln, weil nicht klar ist, was ihr Zweck ist und damit überhaupt unklar ist, ob sie wirklich sein kann. Kant nennt die Metaphysik demnach „metaphysica naturalis" und nicht Wissenschaft.[140]
Trotzdem stellt Kant die Frage, wie Metaphysik als Wissenschaft möglich sein kann. Obwohl hier in diesem Zusammenhang die Frage nach der Wissenschaftlichkeit der Metaphysik eher sekundär ist, kann man an folgendem Beispiel jedoch exemplarisch sehen, was hier Kants grundsätzliche Frage ist und wie er sein weiteres Vorgehen gestaltet. Er fragt: Was ist Wissenschaft? Was macht eine Wissenschaft zu einer solchen? Welche Kriterien muss eine Wissenschaft erfüllen? In der bisherigen Betrachtung sind diese Fragen völlig neu. Solche Fragen sind wissenschaftstheoretisch und werden heute auch in vielfältiger Weise diskutiert. Ob diese oder jene Disziplin Wissenschaft ist oder nicht, hat nicht nur Auswirkungen auf ihren Namen. Es hat ebenso Auswirkung auf ihr Ansehen unter den

Wissenschaften, auf die Stellung, die sie im wissenschaftlichen Kanon einnimmt und auf die Möglichkeiten, die diese im interdisziplinären Diskurs hat. Die Fragen, die Kant hier stellt, sind berechtig, haben aber demnach auch weitreichende Folgen. Was eine Wissenschaft ist und welche Kriterien eine Disziplin erfüllen muss um Wissenschaft zu sein, expliziert Kant hier am Beispiel der Metaphysik. Die Antwort auf diese Fragen führt Kant hin zu der Vernunft, die einen Gegenstandsbereich zu einer Wissenschaft macht. Der Begriff der Vernunft wird im Folgenden noch näher ausgeführt werden.

Kant kritisiert zunächst die in der Metaphysik fehlende Methode.[143] Die Metaphysik brauche eine Revolution der Denkart, wie sie in den Wissenschaften der Mathematik, Naturwissenschaft und Logik anzutreffen sei. Die Vernunft erkenne demnach nur das, was die Vernunft selbst hervorbringt. Man kann sich daher von der Natur nicht diktieren lassen, was richtig oder falsch ist, sondern man stellt konkrete, aus dem Verstand generierte Fragen an die Natur und erhält so vorstrukturierte Antworten. Kant geht von einer solchen „Natur im Zeugenstand" aus und nennt dieses methodische Vorgehen eine Revolution der Denkart, die der Metaphysik noch fehle um Wissenschaft zu sein.[143] Indem Kant postuliert, die Metaphysik sei nur auf Subjekte anzuwenden und nicht auf Objekte, die ja empirisch erfahren werden müssen, was der Grenze der Vernunft entspricht, definiert er die Methode der Metaphysik neu. Ohne diese neue Methode bezeichnet Kant die Metaphysik als „Herumtappen". Er kritisiert, dass man sich in der Metaphysik bisher nicht einigen konnte, was die eigentlichen zentralen Fragen seien und welche Wege zu deren Beantwortung führen.[140, 146] Trotzdem sucht Kant die Begründung der Physik in den metaphysischen Anfangsgründen.[147] Mit Hilfe der Metaphysik sucht Kant nach einer Wissenschaft des absoluten Wissens, die im Gegensatz zu den Naturwissenschaften steht, die zwar fähig sind synthetische Urteile *a priori* zu erkennen, die aber immer empirische Bestandteile enthalten und auf Anschauungen zurückgreifen müssen.[139] Bisher kam der Metaphysik eine eher historische Aufgabe zu, nämlich dem Erklären, warum und wie diese oder jene Wissenschaft begonnen hat. Aber Kant will der Metaphysik eine Aufgabe zusprechen, die darüber hinaus geht und bringt sie deshalb mit der Physik zusammen. Er will so aus der mathematischen Physik eine rein rationale Physik machen.[139]

Letzten Endes ist das, was ein Gegenstandsgebiet zur Wissenschaft macht, die Vernunft. Kant unterscheidet allerdings zwei verschiedene Arten von Vernunft.[140, 148]

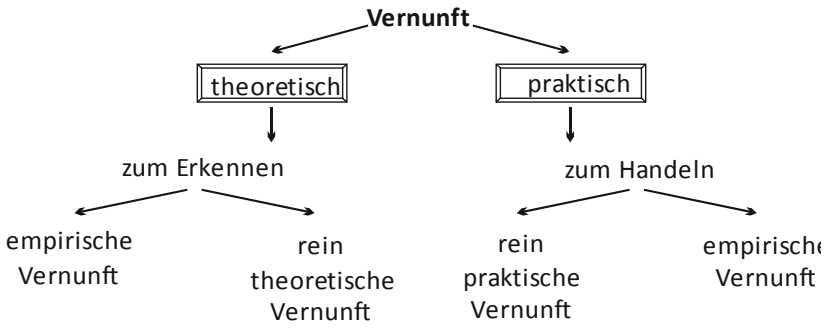


Abb. 66: Vernunft nach Kant

Grundsätzlich ist jede Vernunft auf *eine* Vernunft zurück zu führen. Allerdings ist die theoretische Vernunft von der praktischen zu unterschieden. Die theoretische Vernunft führt zum Erkennen, während die praktische Vernunft zum Handeln führt. In jedem Fall gibt es eine empirische Vernunft, die einerseits auf die Erkenntnis andererseits auf das Handeln bezogen ist. Die theoretische Vernunft ist für die Wissenschaftlichkeit einer Disziplin verantwortlich und ist dafür verantwortlich Prinzipien *a priori* zu erkennen.[140] Die praktische Vernunft hingegen führt zu Kants Ethik und steuert das Handeln unabhängig von Trieben, Bedürfnissen, Leidenschaften und Empfindungen.[143]
Die theoretische Vernunft ist demnach erkennend, während die praktische Vernunft wollend ist. Kant beschreibt die Vernunft als ein „Vermögen, den Bereich der eigenen Sinne zu übersteigen und dabei streng objektiven Gesetzen bzw. Prinzipien zu folgen“. Die theoretische Vernunft übersteigt dabei die theoretischen Prinzipien. Die praktische Vernunft übersteigt hingegen das Bewertungsvermögen, welches dem Handeln zu Grunde liegt.[140, 148, 149]
Der Begriff des Wollens spielt also in Kants Ethik eine besonders große Rolle. Wille beschreibt in diesem Fall eine praktische Subjektivität, er spiegelt die Vernunft bezogen auf das Handeln wieder.[149] In anderen Worten: die praktische Vernunft ist das Vermögen zu wollen.[150] Kant erklärt, dass bspw. Tiere keinen Willen haben, weil sie der Natur folgen, weil für sie die Natur das Gesetz ist. Wille ist für Kant erst dann vorhanden, wenn man sich bewusst von den natürlichen Impulsen distanziert und nach eigenen Gesetzmäßigkeiten handelt. Die empirische Vernunft (die praktische Vernunft) ist demnach abhängig von Erfahrungen (Trieben, Bedürfnissen,…). Die reine praktische Vernunft ist jedoch *a priori*. Kant postuliert, dass alle sittlichen Begriffe *a priori* seien und weist deshalb den Anspruch des sittlichen Empirismus zurück, der sagt, dass man nur aus empirischen Bestimmungsgründen heraus handeln könne.[148, 149] Schließlich formuliert Kant vier Grundaufgaben der Ethik:

a.) Bestimmung des Begriffs der Sittlichkeit
b.) Anwendung des Begriffs der Sittlichkeit auf endliche Vernunftwesen, was zum kategorischen Imperativ führt
c.) Mithilfe der Vernunft die Wirklichkeit der Sittlichkeit zu beweisen
d.) Überwindung des ethischen Empirismus und des ethischen Skeptizismus

Vor allem der unter b.) genannte kategorische Imperativ hat lange Zeit für Verwirrung gesorgt. Laut Kant tragen wir als endliche Vernunftwesen den kategorischen Imperativ in uns, er entspricht einem Gefühl der Verpflichtung. Jeder Mensch will so handeln, dass sein Handeln dazu geeignet wäre, eine Regel abzuleiten. Der Grund dafür ist die Vernunft, welche die Eigenschaft des Willens ausdrückt Gesetz zu werden.[151] Gleichzeitig normiert der Imperativ das menschliche Handeln und ist ein Appell an das Vernunftwesen vernünftig zu sein.[152] Das menschliche Handeln drückt sich im Sollen

aus, das mit dem Wollen in einem bestimmten Verhältnis steht, wie die folgende Abbildung verdeutlicht.

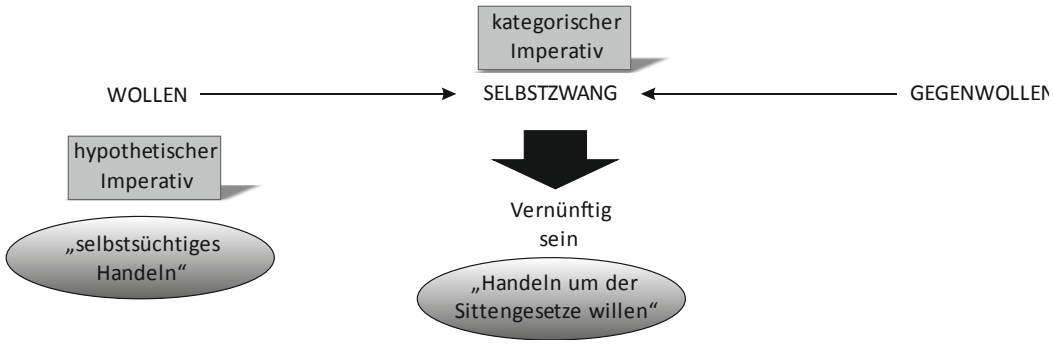


Abb. 67: Verhältnis von Wollen und Sollen

Dem Wollen ist ein Gegenwollen entgegengesetzt. Das pure Wollen entspricht dabei dem hypothetischen Imperativ und damit dem selbstsüchtigen Handeln. Der kategorische Imperativ entsteht aus dem Spannungsverhältnis heraus, das durch das Gegenwollen gegeben ist. Er führt zum „vernünftig sein“ und damit zum Handeln um der Sittengesetze willen. Das Sollen ist also kein Primärprinzip sondern das In-Erscheinung-Treten des Wollens.[152]

Eng mit dem Begriff des kategorischen Imperativs einher geht das Prinzip der Pflicht.[153] Pflicht, als Begriff der auch heute in der Umgangssprache gebraucht wird, ist dabei problematisch. Kant postuliert, dass Handeln, um moralisch zu sein, der Pflicht unterliegen müsse. Daraus entsteht jedoch ein Missverständnis. Kant verwendet nur Beispiele, in denen der Handelnde eine andere Neigung (oder keine Neigung) in Bezug auf die Handlung hat und die Pflicht somit der Handlung entgegenläuft. Um moralisch gut zu handeln, muss aber trotzdem nach der Pflicht und nicht nach der Neigung gehandelt werden. Dieses Problem wurde oft so verstanden, dass Handlungen nur moralischen Wert haben, wenn sie der Neigung widersprächen. Dieses Verständnis wurde von Kant aber expliziert so nicht gemeint, sondern er wählte diese Beispiele nur, um besonders evident vorzulegen, was mit seinem Pflichtverständnis gemeint war.[154] Insgesamt lassen sich drei mögliche „Handlungsmotive“ unterscheiden, wie die folgende Abbildung zeigt.

Handlung ist (I) aus Neigung ohne Pflicht möglich. Eine solche Handlung hat keinen moralischen Wert. II. ist eine Handlung aus Pflicht ohne Neigung möglich. Dieses Beispiel wählte Kant aus und erklärt, dass eine solche Handlung einen moralischen Wert hat, weil man etwas tut, weil es die Pflicht vorgibt, obwohl man es nicht will und nicht einfach etwas tut, weil man es selbst will. Die letzte Möglichkeit (III) wird häufig außen vor gelassen. Es gibt nämlich die Möglichkeit etwas aus Pflicht und Neigung gleichzeitig zu tun. Demnach sind also nicht allen Handlungen aus Neigung moralisch verwerflich, sondern nur die, die ohne Pflicht geschehen.[154]

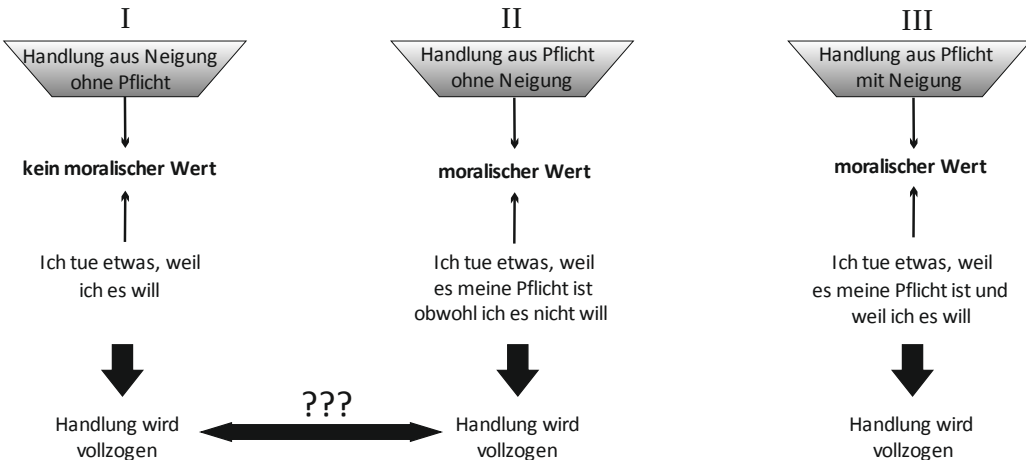


Abb. 68: Handeln aus Pflicht oder aus Neigung

Aus der Erfahrung heraus weiß man, dass Handlungen, die nur aus Pflichtgefühl heraus begangen werden, oft als weniger wertvoll eingeschätzt werden, wie Handlungen, die gleichzeitig der Neigung entsprechen. Das Gefühl sagt: wenn ich Freude daran habe, kann nichts Falsches daran sein (Dass Handlungen aus Freude natürlich dort ihre Grenzen haben, wo die Freiheit des Andren verletzt wird ist evident, hier aber nicht der zu diskutierende Punkt.). Man fragt sich aber nun, warum eine Handlung weniger Wert haben soll, wenn man Freude empfindet. Wenn man beispielsweise einem anderen Menschen einen Gefallen tut, warum soll es moralisch zweitrangig sein, wenn man Freude dabei empfindet? Was ist also das Besondere an Handlungen aus Pflicht? Denn wie Abbildung 68 veranschaulicht, werden sowohl in Fall I als auch in Fall II die Handlungen ausgeführt. Warum sind diese Handlungen qualitativ unterschiedlich? Das eigentlich Problematische daran ist der Begriff der Pflicht. Als Pflicht bezeichnen wir in der Regel etwas, dass wir uns nicht ausgesucht haben, dass wir aber tun müssen, zum Beispiel, weil es von einem Gesetz so verlangt wird, oder weil sich ein bestimmtes Verhalten etwa in der Nachbarschaft so gehört. Wir müssen die Pflicht nicht gut finden aber trotzdem müssen wir ihr folgen.[154] Kant definiert die Pflicht jedoch anders. Bei Kant bedeutet Pflicht Vernunft. Pflicht beschreibt das Verhalten, dass ein Mensch verfolgen würde, der vollkommen vernünftig wäre. Obwohl wir nicht vollkommen vernünftig sind, sind wir dennoch Vernunftwesen. Doch wegen dieser Unvollkommenheit erleben wir die Vernunft als Pflicht.[153, 154]
Ein kurzes Beispiel soll diesen Sachverhalt verdeutlichen: Ein Student hat eine Vorlesung, deren Thema ihn nur mäßig interessiert. Da es keine Anwesenheitspflicht gibt, überlegt der Student, ob er die Veranstaltung an einem Termin ausfallen lassen soll. Das Wetter ist schön, Freunde treffen sich am See und es entspräche eher seiner Neigung in der Sonne zu liegen. Ein vollkommen vernünftiger Mensch würde natürlich die Vorlesung besuchen, aber jeder normale Mensch hat Neigungen. Die Neigung des Studenten zieht ihn an den See obwohl es eigentlich seine Pflicht ist als ordentlicher Student, die Vorlesung nicht zu schwänzen. Diese Pflicht (das Besuchen der Vorlesung) wird als Pflicht empfunden, weil die Vernunft gebietet dementsprechend zu handeln, aber die Neigung etwas anderes verlangt. Das würde bedeuten: Pflicht entgegen der Neigung (II) ist Pflicht. Pflicht mit der Neigung (III) ist einfach nur Vernunft, weil sie der Neigung nicht wiederspricht. Mit dem Thema

des kategorischen Imperativs und der Pflicht ergeben sich viele weitere Fragen: Meint Kant zum Beispiel, dass man sich vollkommen von der Neigung trennen muss? Wie kommt ein Mensch dem vollkommenen Vernunftwesen am nächsten? Aber diese Fragen führen an dieser Stelle zu weit und sind für die Behandlung der übergeordneten Fragestellung zunächst zweitrangig.
Trotzdem bleibt die Frage, wie genau gehandelt werden soll. Also, „Was soll ich tun?“ Kant sucht in dieser Frage den Ursprung der Sittlichkeit und Ordnung und diskutiert das Verlangen nach Glück, das handeln Wollen nach Gottes Willen und das moralische Gefühl. Dabei tritt auch die Frage nach der Freiheit auf. Der Ursprung der Moral liegt in der freiheitlichen Selbstbegrenzung des Willens.[143] Hier trifft Kants Ethik auf die Naturwissenschaft. Alles ist durch Naturgesetze determiniert, trotzdem muss Freiheit möglich sein. Es muss also eine Natur der Freiheit hinter der erscheinenden physikalisch determinierten Natur geben. Diesem Problem widmet sich Kant in seiner dritten Antinomie.[140, 141] Die Thesis lautet, dass die Kausalität nach Gesetzen der Natur nicht die einzige sein kann, aus welcher die Erscheinungen der Welt insgesamt abgeleitet werden können, sondern dass es noch eine Kausalität geben muss, die durch Freiheit zur Erklärung derselben anzunehmen notwendig ist. Die dazugehörige Antithesis behauptet, dass es keine Freiheit gibt, sondern alles in der Welt nach Gesetzen geschieht. Kant erklärt Antithese und These für richtig. Die These müsse richtig sein, weil es vom Standpunkt der Ethik aus Freiheit geben muss.[141] Im Willen des Menschen, selbst Gesetz sein zu wollen drückt sich die Freiheit aus, die im Unterschied zur Naturnotwendigkeit und Kausalität steht.[151] Der Wille muss demnach Freiheit haben.[148] Im engen Zusammenhang steht hier auch die Vorstellung von Gott, der hinter der Physik vermutet wird. Der Glaube an Gott entspricht laut Kant dem Glauben der Moral.[141]

Nachdem nun Kants Begriff der Naturwissenschaften, sein ethisches und metaphysisches Verständnis näher untersucht wurden, soll nun dazu übergegangen werden, die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft zu diskutieren. Kant definiert dabei Wissenschaft an sich wie folgt:[144]

„Eine jede Lehre, wenn sie ein System, d. i. ein nach Prinzipien geordnetes Ganzes der Erkenntnis sein soll, heißt Wissenschaft, […]“

Er unterscheidet Wissenschaften jedoch danach, ob sie Sätze *a priori* enthalten. Hierzu zählen die Mathematik, von der er sagt, dass all ihre Urteile zudem synthetisch sind, die Naturwissenschaft (im Besonderen die Physik), die synthetische Urteile *a priori* als Prinzipien enthält und schließlich die Metaphysik, in welcher zumindest Erkenntnisse *a priori* enthalten sein sollten.[140] Auch wenn man Metaphysik heute nicht mehr zu den klassischen Naturwissenschaften zählen würde, nennt Kant jedoch keine (aus unserer heutigen Sicht) Geisteswissenschaft, die Urteile *a priori* enthält. Problematisch ist das allerdings nur, wenn dadurch ein qualitativer Unterschied zwischen den Wissenschaften entsteht. Laut Kants Definition, sollte ein Gegenstandsbereich immer noch Wissenschaft sein, auch wenn er keine Urteile *a priori* enthält, solange er ein System der Erkenntnis

bildet. Vergleicht man aber die Einteilung der Naturwissenschaften mit dem gerade Gesagten, entsteht die Frage, ob die genannte Definition wirklich das wiedergibt, was Kant meint. Kant postuliert, dass die historischen Naturwissenschaften eigentlich keine Wissenschaften im strengen Sinne sind, da sie keine Mathematik enthalten.[144] Kant definiert eine Wissenschaft also wie bereits gesagt über die Mathematik. In den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* führt Kant weiterhin aus, dass die Seelenlehren keinen Anspruch auf den Titel „Naturwissenschaft" haben, weil auf sie keine Mathematik angewendet werden kann. Das klärt allerdings die Frage noch nicht, ob die Seelenlehren nicht doch Anspruch auf den Titel „Wissenschaft" hat. Was für Kant nach wie vor unbestritten ist: Ein Gegenstandbereich kann nur Naturwissenschaft werden, wenn man auf ihn Mathematik anwenden kann.[144]

Das allein ist für das heutige Verständnis von Naturwissenschaft zunächst kein Problem. Die Naturwissenschaften sind auch heute dafür bekannt, dass sie ihren Gegenstand mit Hilfe der Mathematik quantifizieren (dazu hat auch Galilei seinen Teil beigetragen). Kant befindet sich hier also in direkter Nachfolge von Platon, Galilei und Descartes. Wenn Mathematik eine Wissenschaft zur Naturwissenschaft macht, dann kann man eben von verschiedenen Kriterien von Wissenschaftlichkeit sprechen. Und tatsächlich sind die Disziplinen ja auch nur deshalb sinnvoll, weil sie „verschiedenes" Wissen (das meint: unterschiedliche Wissensstrukturen) mit unterschiedlichen Methodiken erfassen. Wenn also das Verwenden von Mathematik einer bestimmten Wissenschaft, als Beispiel der Physik, einen bestimmten Namen gibt, nennen wir es Naturwissenschaft, so entsteht zunächst kein Problem für den interdisziplinären Diskurs. Aber Kant meint hier nicht nur einen Namen, sondern vergibt sozusagen ein Prädikat: Mathematik ist die Wissenschaft, die Erkenntnisse *a priori* enthält, damit sie die reine Vernunft anwendet und damit auch apodiktische Erkenntnisse produziert. Andere Gegenstandbereiche vermögen das nicht. Ihnen „fehlt" demnach etwas, sie sind nicht zur reinen Vernunft fähig. Dadurch wird die Unterscheidung zwischen mathematischen und nicht-mathematischen Wissenschaft zum Qualitätsunterschied. Die „qualitativ hochwertigen" mathematischen Wissenschaften bedienen sich der reinen Vernunft, die übrigen nicht. Für einen gleichberechtigten interdisziplinären Dialog ist das natürlich eine untragbare Voraussetzung. Wie schon oben beschrieben zählt Kant auch die Chemie zu diesen unmathematischen Disziplinen, die heute anerkannte Naturwissenschaft ist. Nicht nur die Chemie, sondern im Grunde die meisten Geisteswissenschaften werden aufgrund ihrer fehlenden Möglichkeit zur Mathematisierung zu Wissenschaften ohne reine Vernunft degradiert.

Gleichzeitig erklärt Kant, dass man dem Absolutheitsanspruch der Disziplinen nicht mehr trauen könne, egal, ob es sich um Religion oder Naturwissenschaft handle. Damit meint er, dass man nicht mehr *nur* der Naturwissenschaft oder *nur* der Religion Glauben schenken kann, wodurch eine Verbindung zwischen den beiden Disziplinen geschaffen werden muss und formal die Tür für Interdisziplinarität geöffnet werden könnte. Der Mensch soll sich nicht mehr nur von der Naturwissenschaft determinieren lassen, daher verlangt Kant mehr Disziplinen.[141] Vielleicht ist dieses Verlangen nach mehr Disziplinen zusammen mit Kants strukturiertem Denken auch der

Grund dafür, dass er die Disziplinen einteilt und ihnen damit (willentlich?) bestimmte Plätze zuweist. Schon in der transzendentalen Logik unterteilt Kant in transzendentale Analytik (Naturwissenschaft, Naturgesetze, Verstand, Kategorien, Grundsätze) und in transzendentale Dialektik (moralische Gesetze, Vernunft, Seele, Welt, Gott), wobei ersteres wohl eher der Naturwissenschaft, letzteres den Geisteswissenschaften entspricht. Irritierend ist an dieser Stelle, dass Kant die Vernunft den Geisteswissenschaften zuordnet, obwohl er davon ausgeht, dass die reine Vernunft nur mit Hilfe von Urteilen *a priori* und damit mit Mathematik zu gebrauchen ist. Sein erklärtes Ziel ist jedoch die Bearbeitung folgenden Zusammenhangs: Er geht davon aus, dass es ein letztes göttliches Seiendes gibt, das der Erfahrung und der naturwissenschaftlichen Forschung zugänglich ist. Dieses letzte Seiende kann aber nur durch die reine Vernunft erkannt werden.[140, 141]
Dieser Schluss ist natürlich in Gänze logisch: Wenn das Göttliche nur mit reiner Vernunft erkannt werden kann, dann benötigt man zu seiner Erkenntnis eine Wissenschaft, die Urteile *a priori* ziehen kann, wozu die Naturwissenschaft befähigt ist. So wird auf diese subtile Art und Weise eine Brücke zwischen Religion und Naturwissenschaft geschlagen. Wenn die Naturwissenschaft in der Lage ist, das Göttliche zu erkennen, kann sie laut Kant die Befreiung vom geistigen und religiösen Zwang sein.[139]
Kant erkennt aber auch die Fronten zwischen Theologie, humanistischen Sprachstudien und Historie einerseits und militärischen, maschinenbauerrischen Schwerpunkten andererseits. Diese Fronten ergeben sich laut Kant durch die Mechanik, die in der Lage ist Maschinen hervorzubringen und damit etwas zu leisten, was man sich konkret zu Nutze machen kann. Durch die Naturwissenschaft wurde im 17. Jahrhundert der kulturelle Fortschritt erhofft und es entstand ein neues Verhältnis zwischen Welt und Geist. Dadurch wurde auch der Mensch als Wesen Gottes, dass in der christlichen Tradition stand auch wesentlich berührt.[139] Ein Beispiel veranschaulicht diesen Umstand: Aristoteles Theorie von den natürliche Orten und den natürliche Bewegungen verleiht der Natur etwas Prozesshaftes. Durch die mechanistische Natursicht (von Galilei eingeläutet) verliert damit der unbewegte Beweger an Substanz und wird überflüssig. Die Prozesshaftigkeit des Weltgeschehens wird nicht mehr dem Göttlichen zugedacht, sondern der Natur an sich. Der Prozess der Natur folgt nicht Gott, sondern den Naturgesetzen. Wie schon oben erwähnt, haben die Begriffe Natur und Gesetz hier eine besonders herausragende Verbindung. Alles, was empirisch gefunden wird, verlangt nach einem Gesetz, einem „reinen Teil“.[144] Dieser Punkt ist besonders wichtig für die Verbindung von Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften, der damit beginnt, dass es einen qualitativen Sprung innerhalb der Naturwissenschaften gibt (vgl. Abbildung 71). Das geht über das „Eingreifen“ von Galilei heraus und entspricht dem Gegenteil von Bacons Empirismus. Und diese Tatsache wirkt sich schließlich auch auf das Verhältnis der Naturwissenschaften zu den Geisteswissenschaften aus.
Kants theoretische Einteilung der Wissenschaften erhält einen praktischen Charakter im *Streit der Fakultäten*. Zunächst erklärt Kant genau, wie eine Universität im Allgemeinen aufgebaut sein sollte:[155]

„Es war kein übler Einfall desjenigen, der zuerst den Gedanken fasste und ihn zur öffentlichen Ausführung vorschlug, den ganzen Inbegriff der Gelehrsamkeit (eigentlich die derselben gewidmeten Köpfe) gleichsam *fabrikenmäßig* durch Verteilung der Arbeiten, zu behandeln, wo, so viel es Fächer der Wissenschaften gibt, so viel öffentliche Lehrer, *Professoren*, als Depositeure derselben angestellt würde, die zusammen eine Art von gelehrtem gemeinen Wesen, *Universität* (auch hohe Schule) genannt, ausgemachten […]"

Eine feinere Einteilung nimmt Kant in Hinsicht auf die Disziplinen, die Fakultäten vor, wie folgende Abbildung veranschaulicht.[155]

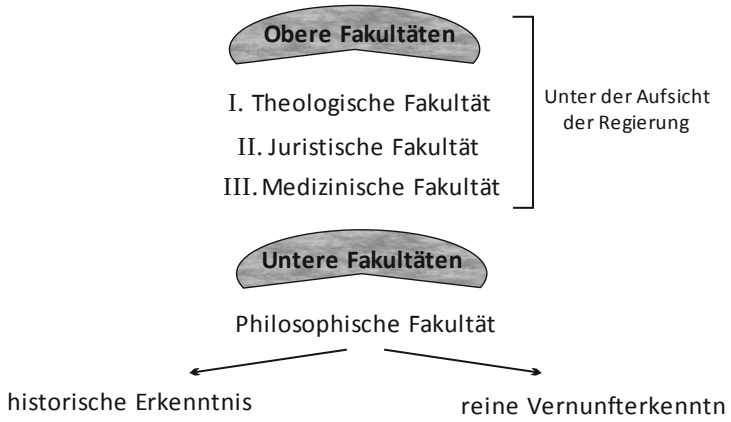


Abb. 69: Einteilung der Fakultäten

Zu den oberen Fakultäten zählen die theologische, juristische und medizinische Fakultät, die von Interesse für die Regierung sind. Das heißt, die Regierung hat das Recht, die Lehren der oberen Fakultät zu sanktionieren. Kant ist aber auch der Ansicht, dass es an der Universität auch eine Lehre geben muss, die von der Regierung frei und nur an der Wahrheit interessiert ist (und interessiert sein darf). Die untere Fakultät ist nur von Interesse für die Wissenschaft, darum kann sie es mit „ihren Sätzen halten, wie sie mag".[155] Die Lehren werden nicht von der Regierung sanktioniert, sondern man überlässt sie sich selbst. Diese Lehre ist unabhängig von der Regierung und nur an der Wahrheit interessiert, die weder brauchbar und anwendbar, noch nach den Maßstäben der Regierung aufgestellt sein muss. Die Regierung stört sich laut Kant nicht weiter daran, wenn die untere Fakultät nach Wahrheiten sucht, denn von diesen Fakultäten nimmt laut Kant das Volk keine Notiz. Die oberen drei Fakultäten sind die, die Einfluss auf das Volk nehmen und deshalb nicht gegen die Regierung sprechen dürfen.[155]

Dass die theologische Fakultät die oberste ist, ist ein starker Ausdruck der Geschichte der Theologie als Wissenschaft, die nicht zuletzt durch die Scholastik begünstigt wurde. Die Philosophie hingegen gehört den unteren Fakultäten an. Das könnte zunächst verwundern, wenn man danach fragt, ob Kant der Philosophie nicht mehr Achtung entgegen brachte. Aber die philosophische Fakultät ist dazu da die drei oberen Fakultäten zu kontrollieren und ihnen dadurch nützlich zu sein. Eigentlich

ist die tatsächliche Nützlichkeit einer Fakultät die Suche nach Wahrheit, den Auftrag der Regierung zu erfüllen ist nur Nutzen zweiten Rangs. Darum ist die Philosophie die eigentlich nützlichere, weil sie nach der Wahrheit strebt.[155]

Wenn man die Aufteilung der Disziplinen betrachtet, so stellt man fest, dass nicht zwischen unseren heutigen Prädikaten Natur-und Geisteswissenschaft getrennt werden kann. Zur historischen Erkenntnis zählen Disziplinen wie Geschichte, Erdbeschreibung, Naturkunde und Sprachkenntnisse. Zur reinen Vernunfterkenntnis die Mathematik, Philosophie und Metaphysik. Kant bleibt seiner Linie treu und teilt die Wissenschaften nach der Art der Urteile auf, nach dem „Grad" in dem sie Vernunft gebrauchen können. So kann man höchstens sagen, dass aus den Disziplinen der oberen Fakultäten tatsächlich die größte Anwendbarkeit zu ziehen ist, die zumindest direkt sichtbar wird. Religion, Medizin und Justiz betreffen den Menschen direkt in seinem Leben, die Disziplinen der unteren Fakultät tun dies nur sekundär. Kants Interdisziplinarität sieht in diesem Sinne so aus:[155]

„Die philosophische Fakultät kann also alle Lehren in Anspruch nehmen, um ihre Wahrheit der Prüfung zu unterwerfen."

Philosophie fungiert damit, in ihrer Fähigkeit zur Bildung von synthetischen Urteilen *a priori* und zur Verwendung der reinen Vernunft, als Kontrollinstanz der anderen Disziplinen und hat in dieser Hinsicht eine besondere Stellung gegenüber den anderen Disziplinen. Kant sieht aber auch den (nicht zuletzt historisch zu begründenden) Wert der Theologie im gesellschaftlichen Zusammenhang, der für den Staat von großer Bedeutung ist. In seiner Einteilung der Disziplinen wird nur implizit klar, welche Disziplin für Kant die höchste Stellung hat und das sind die Disziplinen, die zur reinen Vernunfterkenntnis fähig sind. Da die Mathematik zu ebendiesen Disziplinen gehört und Kant die Naturwissenschaft eng mit der Mathematik verknüpft, sorgt das für einen Aufschwung der Naturwissenschaften, auch wenn sie zunächst nicht zu den oberen Fakultäten gehören. Die Differenzierung von Natur- und Geisteswissenschaften wird so verstärkt und ist Ausdruck dessen, was im heutigen Wissenschaftssystem schon fast wieder überholt erscheint.

2.3.2 Die moderne Naturwissenschaft

Die aufstrebende moderne Naturwissenschaft schuf erneut einen Umschwung im wissenschaftlichen System, der bis heute anhält. Der Wandel vollzog sich neben der Chemie vor allem zunächst in der Biologie im Zuge der darwinistischen Evolutionstheorie und schließlich auch in der Physik mit der Entdeckung der Quantenmechanik. Während die Quantenmechanik einen neuen Blick auf die materielle Welt erzwang wurde zudem das Menschenbild durch die Evolutionstheorie stark verändert. Die Stellung des Menschen in der Welt wurde neu überdacht und so auch das Verhältnis der Disziplinen untereinander. An dieser Stelle soll nun zunächst näher auf die biologische Evolution und anschließend auf die Quantenmechanik eingegangen werden.

Die Idee der Evolution ist auch zur Zeit Darwins noch nicht völlig neu. Trotzdem ist er derjenige, der sie anschließend im wissenschaftlichen Diskurs vorangetrieben hat und sein Name ist unweigerlich mit dem Gedanken der Evolution verknüpft. Schon zu seinen Lebzeiten wurde Darwin in einer Linie mit Galilei oder Newton genannt, seine Bedeutung für die Wissenschaft war schnell klar. Ebenso deutlich wurde, dass seine Entdeckungen und Theorien nicht nur die Evolutionsbiologie sondern ebenso geisteswissenschaftliche Gebiete betreffen würden.[156] Die Idee sich mit der Entstehung der Arten zu beschäftigen, kommt Darwin erst auf seiner Reise auf der Beagle, einem Vermessungsschiff, die er mit 22 Jahren antritt.[156] Auf seiner Reise macht er viele geologische Beobachtungen, die er schließlich auch schriftlich festhält.[157] Seine wohl wichtigste Schrift „Die Entstehung der Arten" entsteht ebenfalls auf der Basis seiner Beobachtungen auf seiner Reise.[158] Seine Schrift „The Decent of Man" widmet er genaueren Fragen den Menschen betreffend. Er untersucht darin genauer den Zusammenhang zwischen den einzelnen Menschenrassen und geht der Frage nach, ob der Mensch von einer früheren Form abstammt und wie der Mechanismus funktioniert, der schließlich zur uns bekannten Menschenart geführt habe.[159] Seine Hauptthesen, die auch wissenschaftlich und gesellschaftlich am stärksten diskutiert wurden, sind in folgender Abbildung zusammen gefasst.[156]

Abb. 70: Hauptthesen der darwinistischen Theorie

Seine Argumentation in „Die Entstehung der Arten" stützt sich auf diese vier Hauptthesen. Das Deszendenztheorem besagt, dass alle Organismen gleicher Abstammung sind. Dazu zählt Darwin auch den Menschen. Unter Gradualismus versteht man, dass das Prinzip der natürlichen Selektion nicht sprunghaft von statten geht sondern graduellen Charakter hat. Die natürliche Auslese selbst bezieht sich auf den Gedanken, dass eine Selektion stattfindet und sich „der Stärkste" schließlich durchsetzt. Die Natur selektiert demnach über einen langen Zeitraum hinweg das, was nicht überlebensfähig ist. Das Divergenzprinzip schließlich erklärt die Massen der Arten. Es besagt, dass sich die Arten ebenfalls im Laufe der Selektion vervielfältigen.

Diese Einzeltheorien sind in weiterentwickelter Form auch heute immer noch Grundstock für evolutionstheoretische Forschung. Wie leicht ersichtlich ist, verändern diese Theorien natürlich nicht nur den Blick auf Natur und Schöpfung, sondern letzten Endes auch auf das Menschenbild, das sich bis zu diesem Zeitpunkt immer in Abhängigkeit von einem Schöpfergott empfand. Darwins Evolutionstheorie ist also nicht nur für den wissenschaftlichen Kontext, sondern auch und vor allem in gesellschaftlicher, theologischer und philosophischer Hinsicht relevant. Es dauerte ca. 100 Jahre bis die Evolutionstheorie nach Darwin von der wissenschaftlichen Gemeinschaft allgemein anerkannt wurde. Bis dahin hielt man die natürliche Selektion für einen zu geringen Faktor, um die Richtung der Evolution zu bestimmen. Mit der Zeit entwickelten sich ebenfalls antidarwinistische

Theorien zur Entstehung der Arten, wie zum Beispiel die saltationistische, die neo-lamarckistische oder die orthogenetische Theorie.[159] Grundsätzlich unterscheidet man die sich von Darwin differenzierenden Theorien folgendermaßen:[159]

- Kontradarwinistische Theorien: Hier wird davon ausgegangen, dass es keine Kausalität des Evolutionsvorgangs gibt und demnach keine Zufallsnatur der Evolution.
- Antidarwinistische Theorien: Wie Darwin sind sie der Ansicht, dass die Evolution kausal voranschreitet, aber die Evolutionsfaktoren werden unterschiedlich interpretiert.
- Nichtdarwinistische Theorien: Sie sind der Ansicht, dass es einen parallelen Mechanismus neben dem von Darwin vorgeschlagenen gibt.

Für die größte Aufregung in gesellschaftlicher Hinsicht sorgte vermutlich die Tatsache, dass die Evolution und die Schöpfungserzählungen nicht zur Deckung gebracht werden konnten. Zur Zeit Darwins war es üblich an der wörtlichen Überlieferung des Schöpfungsberichtes festzuhalten. Man nahm an, dass jede Art einzeln von Gott kreiert wurde. Darwin studierte in jungen Jahren zunächst Medizin, wechselte dann aber zu einem Studium der Theologie mit dem Wunsch Landgeistlicher zu werden.[160] Als Charles Darwin seine Forschungsreise antritt, hält er ebenfalls an diesem Schöpfungsglauben fest.[160, 161] Allerdings stellt er im Laufe der Reise immer mehr Naturbeobachtungen an, die sich nicht mit dem Schöpfungsbericht erklären lassen. Diese Beobachtung stellen ihn vor ein Problem, was ihn überhaupt erst dazu bewegt der Frage nachzugehen, die seine künftigen Werke prägen werden: wie sind die Arten entstanden? In diesem Stadium seiner Forschung ist Darwin noch bemüht die Schöpfungserzählung durch Naturgesetze zu untermauern, aber er wird sie immer mehr durch Naturgesetze ersetzen.[161] Später erklärt Darwin, dass er vor seiner Reise kein Problem damit gehabt habe den Schöpfungsbericht wörtlich zu nehmen und sich dem englischen Glaubensbekenntnis anzuschließen. Es sei ihm erst später aufgefallen, dass es unlogisch sei etwas zu glauben, dass man in keiner Art greifen könne.[160] Nach der Reise auf der Beagle war es Darwin unmöglich geworden am christlichen Glauben in der Art und Weise festzuhalten wie er es bis dahin getan hatte. Gleichzeitig bedeutete das für ihn nicht, dass er nicht mehr an Gott glauben konnte, denn er bezeichnete sich weiterhin als Theist. Er schreibt dazu in seiner Autobiographie:[160]

„Die Unmöglichkeit, einzusehen dass dieses ungeheure und wunderbare Weltall, das den Menschen umfasst mit seiner Fähigkeit, weit zurück in die Vergangenheit und weit in die Zukunft zu blicken, das Resultat blinden Zufalls oder Notwendigkeit sei. Denke ich darüber nach, dann fühle ich mich gezwungen, mich nach einer ersten Ursache umzusehen, die im Besitz eines, dem Menschen im gewissen Grade analogen Intellekts ist, und ich verdiene, Theist genannt zu werden.“

Dementsprechend könne die Existenz Gottes nicht an einer wunderbaren Schöpfung festgelegt werden, da die Natur geregelten Gesetzmäßigkeiten unterliege. Laut Darwin ist es aber möglich den Glauben auf der Basis der Vernunft zu begründen. [160]
Natürlich wurde die Theorie Darwins im religiösen Kontext unterschiedlich rezipiert. Im katholischen Umfeld wurde die Theorie meist solange akzeptiert, solange sie nicht die menschliche Existenz betraf.[162] Problematisch an Darwins Evolutionstheorie war dementsprechend die logische Schlussfolgerung: Der Sinn und Zweck der Natur lässt sich durch kausale Naturgesetze erklären. Es bedarf dazu keiner zusätzlichen mythischen oder religiösen Erklärung mehr. Bis zu diesem Zeitpunkt konnte man sich die Entstehung der Welt nur durch das Wirken eines allmächtigen Schöpfers vorstellen, der jetzt nicht mehr gebraucht wurde. Gott als Designer ist nicht mehr notwendig, womit sich ein völlig neuer Blick auf die Natur und damit auch ein neues Naturbild ergibt. Hier wird quasi das vollendet, was schon in der wissenschaftlichen Revolution angelegt war.[163] Auf der einen Seite eröffnet sich die Naturwissenschaft mit der Rede vom Mechanismus, auf der anderen Seite die Theologie mit der Frage nach dem Ziel oder dem Zweck. Es stellt sich die Frage: Hat Gott entweder das Ziel gesetzt nach dem alles einem bestimmten Zweck dient oder gibt es einen Mechanismus, der von selbst abläuft. Die Diskussion darüber, ob nicht beides nebeneinander existieren kann ist alt und trotzdem aktuell. Es die Frage danach, ob man sich zwischen Theologie bzw. Religion und Naturwissenschaft entscheiden muss. Darwin erklärt selbst, dass er nicht glauben kann, dass das Universum ein Produkt des Zufalls sein soll. Auf der anderen Seite ist die Zweckmäßigkeit, im Sinne eines aristotelischen intrinsischen Ziels, nicht leicht mit der Evolutionsbiologie zu vereinbaren. Darwin spricht in diesem Zusammenhang von „*designed laws*“, also von geplanten Gesetzen, womit er die Naturgesetze meint.[163] Die Bezeichnung von Darwin impliziert natürlich einen Designer. Hier klingt zudem nicht nur die Idee des Zwecks der Natur an, sondern, damit verbunden, natürlich sofort auch der aristotelische Gedanken der Bewegung, der *causae*, mit denen er versucht die Welt zu erklären.[156] Die Frage nach der Welt wird von Darwin anhand von naturwissenschaftlichen Theorien beantwortet, so wird der Zweck der Natur kausal, die Bewegung wird Mechanismus.

Tatsächlich berührt die darwinistische Theorie sofort auch ethische Fragestellungen. Das Universum, dass keinen Gott mehr braucht um zu existieren, ist von nichts als von Zweckkausalität bestimmt. Das moralisch-ethische Denken wird hier selbst zum Faktor dafür, ob ein Lebewesen selektiert wird oder nicht. Damit ist die Ethik nicht mehr durch „das Denken moralischer Grundsätze“ bestimmt, sondern so eng mit dem Handeln verknüpft, wie sie es in dieser Form bis dahin noch nie war. Auf den Punkt gebracht ließe sich etwa folgende Formel für die Ethik festhalten: Wer moralisch handeln kann (egal ob er so denkt) hat unter Umständen bessere Voraussetzungen nicht selektiert zu werden.
Mit der Frage nach der Moral beschäftigt sich auch Darwin selbst in „The Decent of Man“. Sie war für ihn auch deshalb von persönlicher Bedeutung, weil seiner Meinung nach der moralische Sinn

und das Gewissen der größte Unterschied zwischen dem Menschen und den anderen Arten darstellte. [161] In diesem Zusammenhang verweist er auf Kant und die Frage nach dem Ursprung der Pflicht und spielt ebenso auf die antike Tugendlehre an. Er formuliert hier auszugsweise:

„Die edelste aller Eigenschaften des Menschen, die ihn dazu führt, ohne einen Augenblick zu zögern sein Leben für das eines Mitgeschöpfes zu opfern; oder nach eingehender Überlegung, angetrieben einfach durch das tiefe Gefühl von Recht und Pflicht, es für irgendeine große Sache zu opfern."

Darwin ist demnach der Ansicht, dass nur der Mensch Unrecht von Recht unterscheiden kann, was seiner Meinung nach zu einer Sonderstellung des Menschen führt.

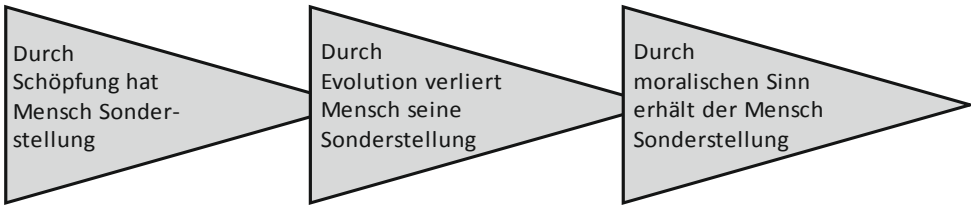


Abb. 71: Stellung des Menschen nach Darwin

Der Mensch hat vor der Veröffentlichung der Evolutionstheorie eine Sonderstellung auf der Erde, die ihm durch die Schöpfungserzählungen und dem damit verbundenen Herrschaftsauftrag gegeben zu sein scheint. Dieser Sonderstellung wird der Mensch durch die Evolutionstheorie enthoben. Er ist jetzt eine Art unter anderen Arten, die der natürlichen Selektion unterliegt. Darwin zufolge erhält der Mensch jedoch trotzdem eine Sonderstellung. Diese jetzt nicht mehr religiös-theologisch, sondern ethisch-moralisch begründet. Der Mensch ist der Moral fähig und das hebt ihn von den Tieren ab.

Darwin betont, dass es zwischen dem Menschen und dem Tier zwar nur einen graduellen aber eben diesen fundamentalen Unterschied gebe.[161] So stellt sich vor allem die Frage: wie kommt es zu diesem Unterschied? Wie kommt es zur Moralfähigkeit des Menschen gegenüber den Tieren? Darwin geht von der Grundannahme aus, dass der Menschen soziale Instinkte besitzen. Solche Instinkte habe schon der Urmensch gehabt und sie seien durch natürliche Selektion entstanden. Aus diesen sozialen Instinkten habe sich anschließend der moralische Sinn entwickelt. Beides, sowohl der soziale Instinkt als auch der moralische Sinn seien auf das Wohl der Gesellschaft gerichtet. Der moralische Sinn allerdings wird mehr durch den Verstand, das Eigeninteresse, durch religiöse Gefühle und durch Erziehung und Gewohnheiten geregelt, während der soziale Instinkt mehr ein gefühlter Impuls für das allgemeine Recht-Unrecht-Denken darstellt.[161] Das Problematische an dieser Erklärung ist, dass der moralische Sinn nicht völlig kausal erklärt werden kann. Auf der einen Seite wird er durch soziale Umstände, etwa im Elternhaus, geprägt. Auf der anderen Seite stellt sich die Frage, ob moralischer Sinn auch weitervererbt werden kann. Hier wird ein Thema angerissen,

was auch in der heutigen pädagogisch-psychologischen Diskussion noch immer kontrovers diskutiert wird: Wie viel „vom Mensch“ wird durch seine Gene bestimmt und wie viel durch seine Erziehung und seine Erfahrungen?
Darwin erklärt den Wandel vom sozialen Instinkt zum moralischen Sinn folgendermaßen: Der Mensch war zunächst in kleinen Gruppen miteinander sozial. Das Wohlwollen bezog sich also nur auf Menschen im eigenen kleinen Stamm. Stämme, die solche sozialen Instinkte hatten, waren überlebensfähiger als andere Stämme. Diese Stämme waren auch in der Lage sich mit der Zeit zu größeren Verbänden zusammen zu schließen. Damit wurde nicht nur die quantitative Anzahl der Individuen erhöht, denen gegenüber man wohlgesonnen war, sondern es vollzog sich auch ein qualitativer Wandel. So wurde der soziale Instinkt verfeinert.[161] Interessanterweise greift Darwin hier nicht auf eine biologische Messgröße zurück, sondern argumentiert mit anderen Faktoren. Neben der Messgröße „des Gesündesten und Stärksten“ der der Selektion entgeht und damit überlebt, werden hier andere Faktoren wichtig, die das Überleben sichern können. Dazu zählt auch das Moralbewusstsein, durch welches der Mensch einen Vorteil gegenüber anderen Arten hat. In diesem Sinne spricht Darwin der Religion einen wichtigen Stellenwert zu, denn durch die Religion habe sich das Moralverständnis stark gewandelt und verfestigt.[161]
Früher war man der Ansicht, dass das moralische Gefühl von Gott gegeben sei und damit Aufgabe der Theologie und Philosophie. Jetzt bestimmt man die Moral als Bestandteil der menschlichen Natur. Der Mensch hat solch ein „angeborenes“ Moralgefühl, wie er zum Beispiel auch ein angeborenes Sprachgefühl besitzt. Damit wird die Moral ebenfalls zur Sache der Naturwissenschaft. Die Frage, ob die Evolutionstheorie Darwins einen Zusammenhang zur Geisteswissenschaft, im Genauen zur Ethik, aufweist, ist eindeutig zu beantworten. Der Naturwissenschaft kommt ganz explizit die Aufgabe zu, die menschliche Moral zu erklären. Vielmehr muss die Naturwissenschaft die Moral erklären können, weil andere Erklärungsmodelle durch die Evolutionstheorie weggefallen sind. Ist die Moral, wie die Natur und die Arten, also nicht „gottverschuldet“, wie kann man sie dann erklären? Die Natur und die Entstehung der Arten sind mit naturwissenschaftlichen, kausalen Modellen zu erklären, so muss es also auch mit der Moral sein. Die Frage nach Moral, Gewissen oder Pflicht beschäftigt auch heute noch die Neurowissenschaften wie die Philosophie.

Neben den bisher besprochenen Entwicklungen innerhalb der Biologie, kann als weiterer und vielleicht größter bisheriger Meilenstein in der modernen Naturwissenschaft die Quantenmechanik diskutiert werden. Die Quantenmechanik als solche entstand aus dem Versuch heraus, ein Modell, analog der klassischen Mechanik, zu entwickeln, das auf den Mikrokosmos Anwendung finden konnte. Sie beschäftigt sich, im Gegensatz zur klassischen Mechanik, mit atomaren Zuständen. Dass der Mikrokosmos nicht mir makrokosmischen Größen beschrieben werden kann, wurde erst im Verlauf der Entwicklung der Quantentheorie begriffen. Grundsätzlich kann man folgende Punkte festhalten, in welchen sich Quantenmechanik und klassische Mechanik unterscheiden.[164]

Tab. 3: Klassische Mechanik im Vergleich zur Quantenmechanik

Klassische Mechanik	Quantenmechanik
Teilchen und Wellen sind voneinander verschieden	Welle-Teilchen-Dualismus
Änderungen von Größen erfolgen kontinuierlich	Änderungen von Größen erfolgen sprunghaft
Kausaldeterminismus: es gibt harte Gesetzmäßigkeiten	Indeterminismus: Gesetze folgen statistischen Wahrscheinlichkeiten

Während die klassische Mechanik davon ausgeht, dass Teilchen und Wellen voneinander verschiedene Phänomene sind, werden in der Quantenmechanik Teilchen mit Wellencharakter und umgekehrt beschrieben. Die Änderungen von Größen erfolgen in der klassischen Mechanik kontinuierlich, wie zum Beispiel die Geschwindigkeitszunahme oder Ähnliches. In der Quantenmechanik erfolgen Änderungen von Größen durch Sprünge innerhalb diskreter Zustände. Während in der klassischen Mechanik kausal determinierte Gesetze vorliegen, berechnen sich Zustände in der Quantenmechanik durch statistische Wahrscheinlichkeiten. Diese hier genannten Unterschiede sorgen dafür, dass sich klassische Mechanik und Quantenmechanik in ihren Prämissen unterscheiden. Damit war die Quantenmechanik nicht eine logische Weiterentwicklung der klassischen Mechanik. Heisenberg erkannt richtig, dass es nicht genüge schon bekannte Gesetze immer wieder auf neue Naturerscheinungen anzuwenden.[165] Dies führte schließlich auch zu einem philosophischen Problem, auf das später noch eingegangen werden wird: wie kann es sein, dass zwei so unterschiedliche Modelle die gleiche Wirklichkeit beschreiben?
Die Veränderungen in der Physik blicken natürlich auf eine lange Geschichte zurück. Heisenberg beschrieb hier in diesem Zusammenhang die Parallelen zu den großen Denkern der wissenschaftlichen Revolution:[165]

„Die moderne Physik ist nur ein Glied einer langen Kette von Vorgängen, die mit dem Werk von Bacon, Galilei und Kepler mit der praktischen Anwendung der Naturwissenschaft im 17. und 18. Jahrhundert begonnen hat."

Er macht damit bewusst, dass die Quantenmechanik zwar keine einfache Weiterentwicklung der klassischen Mechanik sein kann, dass sie aber trotz allem in ihrer Tradition steht. Er geht sogar noch einen Schritt weiter und beschreibt die moderne Physik im Zusammenhang mit den antiken Vorstellungen von Materie:[166]

„Vor allem sind es zwei Gedanken der ersten griechischen Philosophen, die noch heute den Weg der exakten Naturwissenschaft bestimmen und die daher vor allem unser Interesse beanspruchen können: die Überzeugung vom Aufbau der Materie aus kleinsten unteilbaren Einheiten, den Atomen, und der Glaube an die sinngebende Kraft mathematischer Strukturen."

Obwohl die Methoden der modernen Naturwissenschaft natürlich nicht mit antiken „Wissenschaften“ vergleichbar sind, erkennt Heisenberg doch, dass man sich im Grunde dieselbe Frage stellt: Wie ist die Materie aufgebaut und wie kommt die Vielfältigkeit trotz der Einheit gleicher Bauteilchen zustande? Die Wandlung, die in der Erklärung der Materie vom Teilchen hin zur Mathematik vollzogen wurde, wurde so in der Quantenmechanik konkret umgesetzt. Auch Heisenberg legt viel mehr Wert auf Begriffe wie „Symmetrie“ und weniger auf den Teilchenbegriff, ganz in der Linie Platons. Er ist ebenfalls der Ansicht, dass Wissenschaft im Gespräch entsteht und verfasst daher auch „Der Teil und das Ganze“ in Dialogform. [167, 168] Heisenberg hält sich demnach auch eher an Platon als an Demokrit. Das liegt vor allem an der Vorstellung vom unteilbaren kleinesten Teilchen im klassischen Materialismus des Demokrit, die so bei Platon noch mehr anzutreffen ist (vgl. Abschnitt 2.1.2). Wie die platonischen Körper erhält sich die Quantenmechanik auch durch Mathematik. Daher beschreibt Heisenberg auch den „innersten Kern alles Stofflichen“ als „Form“ und nicht als „materiellen Inhalt“.[168, 169]

In dieser Hinsicht ist die Entwicklung der Quantenmechanik eine logische Schlussfolgerung aus dem Werdegang der Physik, der von der Antike an beobachtet werden kann. Man unterteilt hier in zwei verschiedene Phasen:[164]

1. Alte Quantenmechanik
    - 1900 – 1920
    - Planck, Einstein, Rutherford, Bohr
    - Fußt auf der klassischen Mechanik
2. Neue/eigentliche Quantenmechanik
    - ab 1920
    - Heisenberg, Schrödinger
    - völliges Lösen von der klassischen Mechanik

Einer der Meilensteine in der Entwicklung der Quantentheorie war mit Sicherheit die Entwicklung des Atommodells nach Bohr 1913. Bohr selbst erklärte schon damals die Absurdität des Modells, da es gegen die klassische Mechanik oder gegen die maxwellsche Elektrodynamik verstoße. Vielleicht war es sein Studium der Philosophie Kierkegaards, das ihn dazu brachte trotzdem an dem Modell festzuhalten.[17] Wenig später ersetzte De Broglie die bohrschen Elektronenbahnen durch stehende Wellen. Diesen Fortschritt konnte Schrödinger später aufgreifen und die Wellenmechanik mit der bekannten Schrödingergleichung entwickeln.[17, 19]

In Hinsicht auf das Verhältnis der verschiedenen Naturwissenschaften hat auch die Quantenmechanik einen Umschwung gebracht. Das bohrsche Atommodell hat heute vor allem Bedeutung in der modellhaften Chemie. Heisenberg sagt dazu:[165]

„Die nächste Nachbarwissenschaft zur Physik ist die Chemie. Tatsächlich sind diese beiden Wissenschaften durch die Quantentheorie zu einer völligen Einheit verschmolzen. Vor hundert Jahren waren sie noch weit getrennt, ihre Forschungsmethoden waren ganz verschieden, und die Begriffe der Chemie hatten zu jener Zeit noch kein Gegenstück in der Physik. […] Das gegenwärtige Verhältnis zwischen der Biologie auf der einen Seite, Physik und Chemie auf der anderen hat vielleicht eine gewisse Ähnlichkeit zu dem zwischen Chemie und Physik vor hundert Jahren. Die Methoden der Biologie sind von denen der Physik und Chemie weit verschieden, und die typischen biologischen Begriffe haben mehr qualitativen Charakter als der exakter Naturwissenschaften."

Die newtonsche Mechanik konnte nicht angewendet werden, um chemische Vorgänge auf atomarer Ebene zu beschreiben. Das wurde erst von der Quantenmechanik ermöglicht. Damit hat die Quantenmechanik ihre Ursprünge sowohl in der Chemie als auch in der Atomphysik. Mit qualitativen Begriffen der Biologie meint Heisenberg hier wohl Begriffe wie „Leben" oder „Organismus" als universelle Beschreibung. Er verknüpft Chemie, Biologie und Physik in der Weise, dass er erklärt, die Biologie wende neue Erkenntnisse aus Chemie und Physik auf lebende Organismen an. Für Heisenberg wird die Welt jetzt nicht mehr, wie früher, in verschiedene Gruppen von Objekten eingeteilt, sondern es ist letztlich immer dieselbe Materie und es sind dieselben verschiedenartigen chemischen Verbindungen, die „zu jedem beliebigen Objekt gehören". Das ließe sich auch auf die Klassifizierung der Wissenschaft anwenden. Früher habe man die Wissenschaften nach ihren Objekten eingeteilt, heute kann man hingegen die Verbindung zwischen den Disziplinen deutlich bestimmen: letzten Endes arbeitet jede Naturwissenschaft mit Materie, die nur in unterschiedlicher Art zur Ausprägung kommt.[165, 168]

Grundsätzlich vollzieht sich also innerhalb der Physik ein geschichtlicher Wandel, der auch immer im Verhältnis zur Philosophie gesehen werden kann, wie folgende Abbildung verdeutlicht.

Abb. 72: Werdegang der Physik in Hinsicht auf die Philosophie

Vor der wissenschaftlichen Revolution war die Physik fast eine Philosophie, nämlich ein Nachdenken über den Zustand und die Beschaffenheit der Natur gemischt mit Beobachtungen, die man unter offenen Bedingungen gemacht hatte. Durch die wissenschaftliche Revolution verlor die Physik viele philosophische Implikationen und wurde mit der Mathematik verknüpft. Theorien wurden aus Experimenten abgeleitet, die unter „gesicherten Bedingungen" stattfanden, die also

einer ersten wissenschaftlichen Methodik entstammten. Allerdings gewann die Physik durch die neue Quantenmechanik wieder etwas von ihrer philosophischen Implikation, welche sie noch vor der newtonschen Mechanik hatte. Hier spielt vor allem der Begriff der hermeneutischen Methode eine entscheidende Rolle, der auch in den heutigen Geisteswissenschaften Anwendung findet. Das Erklären von Modellen in der Physik verläuft so analog zum Erklären anhand von Symbolen, wie es zum Beispiel in der Theologie geschieht. Das heißt, dass die wissenschaftliche Methode der Physik wieder erneut auf dem Prüfstand stand.

Das Experiment gewann erneut an Wichtigkeit. Es trat erneut die Frage in den Vordergrund, ob eine Erscheinung als bewiesen gilt, wenn sie von der Theorie beschrieben werden kann oder wenn sie aus Erfahrungen resultiert.[170] Das Experiment ist hier vor allem deshalb ein wichtiger Ansatzpunkt, da es in der Quantenmechanik weit schwieriger durchführbar ist als es noch in der klassischen Mechanik war. Hier stellt sich eine altbekannte Frage: Folgt die Theorie aus der Empirie oder die Empirie aus der Theorie? Einstein hatte hier eine klare Meinung. Er formulierte dazu in einem Briefwechsel: „erst die Theorie entscheidet, was beobachtbar ist.“.[171] Diese Aussage spricht also vor allem gegen die intuitive Herangehensweise, die in der frühen Naturwissenschaft lange vorgeherrscht hat. Das Prinzip „Die Natur beobachten und dann Gesetze ableiten“ (Induktion) ist auf dieser Basis nicht mehr zulässig. Natürlich sind beide Denkweisen durchaus möglich und in der wissenschaftlichen Geschichte auch praktiziert. Hat man zuerst eine Theorie, dann schärft das in jeder Hinsicht den Fokus auf das, was man beobachten will. Das Experiment kann optimal den Bedingungen angepasst werden und man kann genau das in den Blick nehmen, was man erwartet zu messen. Kommt man von der Empirie her, ist die Fragestellung viel offener. Man ist nicht auf ein bestimmtes Ergebnis festgelegt, was es zu verifizieren oder falsifizieren gilt. Die Vorteile beider Methoden sind klar ersichtlich und in der heutigen wissenschaftlichen Forschung viel diskutiert. Naturwissenschaftliche Forschung tendiert dazu, schon vor dem Experiment eine Hypothese aufzustellen von dem, was erwartet wird. In der qualitativen Sozialforschung etwa sind beide Modelle denkbar und werden genutzt.

Ein Problem ergibt sich erst dann, wenn eine Differenz zwischen der Theorie und den experimentellen Daten auftritt. Genau dies geschieht Heisenberg und bringt ihn dazu die Unbestimmtheitsrelation aufzustellen. Durch diese Erfahrung geleitet, fordert Heisenberg schließlich, dass von experimentellen Daten ausgegangen werden müsse. Die Theorie erfülle dann den Zweck das Beobachtete zu erklären. Hier trifft man auf ein erkenntnistheoretisches Problem, das Heisenberg im Sinne Kants wieder neu diskutieren will: Ist Erkenntnis *a priori* möglich?[172] Heisenberg beantwortet diese Frage mit einem möglichen relativen Apriori, weil er das Experiment auf jeden Fall verlangt. In diesem Punkt unterscheidet er sich von Kant. Heisenberg ist der Ansicht, dass eine Ordnung Apriori existiert, dass diese aber von den Menschen beeinflusst ist und der Mensch diese Ordnung mitbeeinflusst. Man könne laut Heisenberg diese Ordnung „verstehen“, aber jedes Erkennen der Ordnung bedeute gleichzeitig auch deren Beeinflussung.[168, 172, 173]

Dementsprechend unterscheidet Heisenberg auch zwei Arten von Erkenntnissen:

1. Sichere Erkenntnis, die Naturbeobachtungen entstammt
2. Problematische Erkenntnis, die aus Modellen gewonnen wird

Schließlich kann auf dieser Grundlage das Aufkommen der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie erklärt werden. Die Kopenhagener Schule, zu der auch Heisenberg und Bohr gezählt werden können, vertritt die Ansicht, dass in einer Wissenschaft Beobachtungsergebnisse miteinander verknüpft werden müssen. Bei einer Messung entstehe eine Wechselwirkung zwischen dem Gerät und dem Messgegenstand, zum Beispiel einem Wellenpaket. Dieses Wellenpaket wird dann akausal eingeschränkt, also durch das Messen mit einem bestimmten Messinstrument beeinflusst. Das Messgerät kann nur eine bestimmte Eigenschaft, eine bestimmte Potenz, des Wellenpakets wahrnehmen. Hier trifft man auf den Begriff der Potenz, den Heisenberg von Aristoteles entliehen hat.[17] Grundsätzlich heißt das also: Man misst das, was man misst. Das klingt zunächst banal, trifft aber den Kern der Problematik, da man sich beim Messen nur einen bestimmten Aspekt eines großen Ganzen anschaut und damit die Sicht auf den Gegenstand beschränkt bleibt. Da der Beobachter selbst die Messbedingungen wählt, wählt er auch selbst die „Brille“ mit der er auf einen Gegenstand schaut. Ein komplettes System kann demnach eigentlich nur wirklich erfasst werden, wenn es beobachtet und nicht gemessen wird. Die Kopenhagener Schule, und damit Heisenberg, streitet also die objektive Realität eines Beobachters ab.[17] Der Kern der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik kann demnach wie folgt zusammengefasst werden:[164]

- Physikalische Größen sind nicht an sich gegeben, sondern müssen durch Beobachtung und Experiment bestimmt werden. Gleichzeitig werden sie auch durch das Experiment bestimmt.
- Kanonische Größen können nicht gleichzeitig exakt bestimmt werden (Unschärferelation).
- Es gibt keine Kausalgesetze, sondern nur statistische Wahrscheinlichkeiten.

Zwar handelt es sich dabei in erster Linie um physikalische Prämissen, dennoch betrafen sie nicht nur die Physik als Wissenschaft an den Universitäten, sondern auch die gesamte Vorstellung von der Welt. Schrödinger zum Beispiel war zunächst mit der Quantentheorie nicht einverstanden. Sein Ziel war es ein Analogon zu der klassischen Physik in Bezug auf den Mikrokosmos aufzustellen. Dass sich die Mikrophänomene nicht so beschreiben ließen wurde zwar schnell klar, brachte aber sein Weltbild ins Wanken. Die Zusage an die Quantenmechanik bedeutete ja die Absage an eine kontinuierliche, kausal determinierte und eindeutig zu beschreibende Welt.[164]
Einstein, De Broglie und Schrödinger lehnten so die Einstellung der Kopenhagener Schule ab. Einstein war der Ansicht, dass man mit physikalischen Größen den Zustand eines Systems objektiv beschreiben könne. Ebenso erklärt De Broglie, dass es einen objektiven Messgegenstand und einen objektiven Beobachter gebe. Sie untermauerten ihre Meinung wiederum mit drei Thesen:[17]

- Realitätsprinzip: Die Korrelation von Werten, die in Messungen herausgefunden werden, entstammen der Wirklichkeit
- Induktionsprinzip: Man kann aus gemessenen Werten ableiten, woher ebendiese stammen
- Lokalisations- oder Trennungsprinzip: Man kann getrennte Teilchen lokalisieren und auf ihre Trennung voneinander schließen

Diese drei vorgeschlagenen Thesen beruhen auf einem Gedanken Experiment. Dabei werden zwei in Wechselwirkung stehende Teilchen voneinander getrennt und die Parameter eines der Teilchen gemessen. So könne man auch auf die Parameter des zweiten Teilchens schließen. Einstein hielt auch im weiteren Verlauf an der Induktionsmethode fest (vgl. Kapitel 2.2.2), die Kopenhagener Schule wurde jedoch auch stark in ihren Ansichten bestärkt. So wurde die Quantentheorie schließlich zu einer abgeschlossenen Theorie erklärt.[17]

Wie man insgesamt sieht, werden hier viele philosophische Implikationen sichtbar, die mit der Quantenmechanik einhergehen. Dies wird auch in einem Zitat Heisenbergs klar, der von Weizsäcker in einer Rede folgendermaßen zitiert wurde:[171]

„Wenn du dir zutraust, Philosophie zu machen, dann mach es nur. Aber mach dir klar, in unserem Jahrhundert kannst du nur gute Philosophie machen, wenn du das jenige verstanden hast, was das wichtigste philosophische Ereignis dieses Jahrhunderts ist, und das ist die moderne Physik. Und die kannst du nur verstehen, wenn du in ihr tätig bist, und zwar lang.“

Hier wird sein Verständnis von der Beziehung zwischen Philosophie und Physik deutlich. Heisenberg drückt einen großen Respekt vor der Philosophie aus. Auf die Frage Weizsäckers hin, ob er nicht noch mehr philosophische Konsequenzen aus der ganzen Physik ziehen müsse, soll Heisenberg geantwortet haben: „Man kann einmal in den Abgrund schauen, aber im Abgrund leben kann man nicht.“[171] Tatsächlich formuliert Heisenberg das, was die bisherigen Ausführungen auch zu Tage befördert habe. Die Physik und auch die ganze Naturwissenschaft waren schon immer ein Thema der Philosophie. Die Naturwissenschaft allgemein hat schon in der Antike und zur Zeit der wissenschaftlichen Revolution das Weltbild der Menschen verändert und geprägt. Damit ist sie ganz automatisch ein Fall für die Philosophie geworden.
Wenn Heisenberg zum Teil Philosoph war, findet man in der Quantenmechanik auch Wissenschaftler, die mit ethischen Implikationen in Verbindung gebracht werden können. Planck zum Beispiel interessiert sich ebenso für die Frage des Absolutem wie es in der Diskussion um die Kopenhagener Deutung bereits zum Ausdruck gekommen ist. Er stellt sich zudem die Frage, ob es das Absolute außerhalb des menschlichen Betrachters gibt und kommt zu dem Schluss, dass es ein

solches Absolutes geben muss. Dies begründet er in zweierlei Weise. Seine erste Begründung führt über die Ethik. Er ist der Ansicht, dass es absolute Werte gebe, die unabhängig von der Betrachtungsweise seien. Zweitens begründet er naturwissenschaftlich und erklärt, dass es auch endgültige Sätze und universelle Konstanten gebe. Konstanten wie die Lichtgeschwindigkeit oder das plancksche Wirkungsquantum seien nicht erfunden, sondern sie seien unabhängig von Ort, Zeit und Betrachter.[167] Es ist nicht verwunderlich, dass Planck hier mit ethischen Dimensionen das Absolute versucht zu beweisen. Für ihn waren, mit Kant, Wahrhaftigkeit und Ehrlichkeit wichtige Maximen, die mit dem kantischen kategorischen Imperativ in Verbindung gebracht werden können. Dies sieht man zum Beispiel an einem Vorfall um seinen Sohn, der 1944 als Mitwisser am Hitlerattentat verurteilt wurde. Planck wurde das Leben seines Sohnes versprochen, wenn er, als weltberühmter Physiker, unterschrieb Hitler treu ergeben zu sein. Er unterschrieb nicht und sein Sohn wurde hingerichtet. Eine Lüge gegen sein Gewissen war für Planck nicht möglich.[167]
Die Quantenmechanik entstand in einer Zeit, die aus historischen Gründen besonders ethisch geladen war. Die Entwicklung der Atombombe zählt wohl zu einem im Zusammenhang mit dem Werdegang er modernen Physik zu erwähnenden Punkt. Hier sagte Heisenberg Folgendes:[165]

„Die moderne Physik gehört zu dem neuesten Abschnitt dieser Entwicklung, und ihr unglücklicherweise am meisten sichtbares Ergebnis, die Atombombe, hat das Wesen dieses Vorgangs in dem allerschärfsten Lichte gezeigt. Einerseits hat sich damit aufs deutlichste erwiesen, dass die Veränderungen, die durch diese Verbindung von Naturwissenschaft und Technik auf der Erde entstanden sind, nicht nur von optimistischen Gesichtspunkten aus betrachtet werden können […].“

Die Frage, in welcher Art und Weise die Forscher für die Entwicklung der Atombombe verantwortlich gemacht werden konnten, wurde schon zu Lebzeiten von Bohr und Heisenberg diskutiert. Zur damaligen Zeit ging man in deutschen Forschungskreisen nicht davon aus, dass es möglich sei, die Atombombe wirklich zu bauen. Viel schockierender war die Nachricht über den ersten Abwurf schließlich für Bohr selbst. Die Wissenschaft hatte es möglich gemacht die Welt nicht nur im Kleinen, sondern in globalen Ausmaßen zu beeinflussen. Damit wurde man sich auch plötzlich auch der Verantwortung und den ethischen Bedenken der Wissenschaft gegenüber bewusst. Erst diese enge Verknüpfung zwischen Technik und Wissenschaft war es, welche die moderne Wissenschaftsethik hervorbrachte, die im Weiteren noch zu diskutieren sein wird.

2.3.3 Neuere Ansätze und der Begriff der Interdisziplinarität

Wie bisher gezeigt wurde, verändert sich das Verständnis von Wissenschaft maßgeblich, wenn man verschiedene Modelle in ihrer historischen Entwicklung betrachtet. Ein gemeinsamer Punkt ist jedoch bis in die Neuzeit hinein geblieben, nämlich die Suche nach der Wahrheit. Sowohl Aristoteles

als auch Bacon oder Darwin ging es in ihrer wissenschaftlichen Forschung um die Suche nach neuen, wahren Sätzen, die in ihrem jeweiligen Gebiet als anerkannt gelten sollten. Der Erkenntnisgewinn steht bei allen hier vorstellten Theorien im Vordergrund. In den heutigen Wissenschaften geht es ganz klar ebenfalls um die Produktion von neuem Wissen, von neuen Wahrheiten. Was Wahrheit ist, das kann jedoch ganz unterschiedlich aufgefasst werden. Allgemein wird zwischen subjektiver, objektiver und absoluter Wahrheit unterschieden. Je nach Wissenschaft liegt der Anspruch vor, subjektive oder objektive Wahrheiten zu produzieren. Genauer gesagt: In den Naturwissenschaften geht man im Allgemeinen davon aus, dass die neuen Erkenntnissätze objektiven Kriterien unterliegen. Dazu zählt eine validierte Methodik, eine gute Reproduzierbarkeit unabhängig von subjektiven Interaktionen im Forschungshergang und ein möglichst neutraler Blick auf den Forschungsgegenstand. Wie schon in der Einleitung angerissen: die Methode ist wohl eine Hauptsächlichkeit, in der sich die Disziplinen unterscheiden. In den Geisteswissenschaften wird genauso Wert auf nachvollziehbare und reproduzierbare Methoden gelegt. Hier tritt aber das Subjekt mehr in den Vordergrund. Zwei ForscherInnen können zu ein und demselben Gegenstand unterschiedliche Ausführungen niederlegen. Hier geht es nicht um wahr oder falsch im eigentlichen Sinne, sondern um nachvollziehbar bzw. um nicht nachvollziehbar. Die produzierten Wahrheiten haben subjektiven Charakter. Es ist Vorsicht geboten hier eine Wertung lesen zu wollen: die Qualität der Wahrheiten unterliegt nicht dem Merkmal „subjektiv“ oder „objektiv“, Forschungsqualität kann nicht daran gemessen werden, welche Methode verwendet wurde, solange die Methode dem Forschungsgegenstand angemessen ist. Auch oder vor allem heute kann man eine Trennung zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften beobachten und trotzdem findet man bekannte Elemente in ihnen wieder (vgl. Abb. 73):

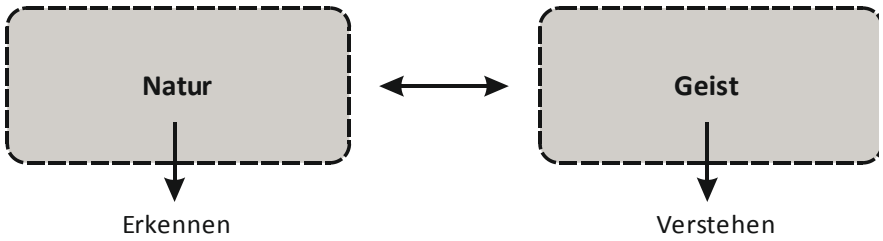


Abb. 73: Schwerpunkte der Natur- und Geisteswissenschaften

Man sieht die bekannte Struktur: die Welt wird zweigeteilt.[12] Auf der einen Seite der Geist, der davon ausgeht, dass die Realität nur oder auch durch die Vorstellung des Menschen existiert. Dieser Realität gilt es auf den Grund zu gehen. Hier stellt sich vor allem auch die Frage danach, wie die Welt überhaupt erkannt werden kann. Vielleicht sogar, ob sie überhaupt erkannt werden kann. Diese eher philosophische Formulierung kann für die praktische Forschung in den Geisteswissenschaften vielleicht etwas entschärft werden. Die Geisteswissenschaften, so könnte man sagen, beschäftigen sich mit den Produkten des Geistes. Mit Sprache, Kultur, Politik und vielem mehr. Diese Produkte des Geistes haben natürlich Auswirkungen oder gar ihren Ursprung in der

Natur. Die Natur allerdings wird von den Naturwissenschaftlern gerne für sich beansprucht. Es handelt sich um die Realität der physischen Körper, die den Naturwissenschaften das sind, was den Geisteswissenschaften die Produkte des Geistes sind. Nur wäre es falsch zu denken, die Geisteswissenschaften hätten kein Recht auf die Natur, und damit auch kein Rech auf Forschung in diesem Sinne.

Die hier vorgestellte Einteilung kann zurück geführt werden auf Wilhelm Dilthey (1833-1911), der ausführt, die Methode der Naturwissenschaft sei das Erkennen, während die Methode der Geisteswissenschaft das Verstehen sei.[12] Eindeutig geht daraus hervor, dass das eine ohne das andere wohl kaum existieren kann. Erkennen ist blind ohne Verstehen, so wie Verstehen leer ist ohne Erkennen. Die Frage ist, ob diese Erkenntnis zu einer Zusammenarbeit zwischen Natur- und Geisteswissenschaften führen kann.

Man geht daher auch im Allgemeinen davon aus, dass die Wissenschaften einen gemeinsamen epistemischen Boden haben. Dieser Boden kann das gesellschaftliche Bewusstsein sein und das System der Wissenschaften kann dementsprechend als Abbild der Gesellschaft und ihrer Fragen, Nöte und Bedürfnisse gesehen werden. Gleichzeitig kann man aber auch von epistemischer Vielfältigkeit sprechen. Trotz des gemeinsamen Bodens entstammen die Wissenschaften unterschiedlicher Wissenskulturen.[174] Im Kleinen betrachtet ist der Boden, auf dem die Wissenschaften gewachsen sind vielleicht doch weniger einheitlich, als man zunächst glauben mag. Schon allein die unterschiedlichen Zielsetzungen und Rahmenbedingungen lassen das vermuten. Kann also überhaupt eine Definition für alle Wissenschaften getroffen werden? Ein Versuch wäre folgende Definition:[12]

„Wissenschaftliches Denken ist in ein nachprüfbares System gebrachte, geistige Beschäftigung mit bestimmten Forschungsgegenständen.“

Das klingt einfach und plausibel. Wissenschaftlichem Denken will man weder die Nachprüfbarkeit, noch den festgelegten Forschungsgegenstand absprechen. Aber so einfach wie es scheint ist es eben doch nicht. Wissenschaft muss sich bestimmten Kriterien unterziehen. Man redet von Kriterien guter wissenschaftlicher Praxis. Folgende sechs Punkte sind es, die dabei in unterschiedlichen Kontexten immer wieder genannt werden:[12]

1. Voraussetzungslos
2. Wertfrei
3. Unabhängig von persönlicher Autorität
4. Frei für ständiges Nachprüfen
5. Überindividuell
6. Öffentlich

Demnach soll Wissenschaft zuerst voraussetzungslos sein. Das folgt dem Grundsatz Descartes`, nämlich dem methodischen Zweifel. Zuerst wird alles in Frage gestellt. Ein Ergebnis kann nicht von

außen vorgegeben werden. Wenn alles in Zweifel gezogen wird, dann gibt es keine festgesetzten Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, bzw. die einfach als Wahrheit vorangenommen werden. Gute Wissenschaft soll zudem wertfrei sein. Der Wissenschaftler soll sich nicht davon beeinflussen lassen, welche Ergebnisse „er gerne hätte“. Im Vorhinein aufgestellte Theorien können durch die Forschungspraxis verifiziert oder falsifiziert werden und das unabhängig von persönlicher Autorität. Es sollen so nicht einfach Lehrmeinungen übernommen werden, so wie es lange Zeit dem Lehraristotelismus vorgeworfen wurde. Es kann nicht einfach angenommen werden, ein Forschungsergebnis sei korrekt, nur weil es von der führenden Forschungsgruppe auf diesem Gebiet vorgestellt wurde. Egal, welche Forschergruppe ein Ergebnis vorstellt, es muss frei sein für ständiges Nachprüfen. Dieses Nachprüfen muss möglich und zudem erlaubt sein. Ebenso wie neue. Dazu muss das Forschungsergebnis überindividuell und öffentlich sein, d. h. frei zugänglich für viele Menschen. Öffentlich bedeutet aber nicht nur, dass es zugänglich sein muss, sondern es kann auch darauf hinweisen, dass es einen Nutzen für die Gesellschaft geben soll.

In letzterer Hinsicht ist Wissenschaft heute in einer besonderen Lage. Zum einen kann man postulieren, dass sie sich „in der Krise“ befindet. Das meint, Wissenschaft hat ihren Anspruch verloren, sich allein durch die Bemühung um neue Wahrheiten zu rechtfertigen. Es wird verlangt, dass Wissenschaft nicht mehr nur zum Selbstzweck betrieben werden soll. Zeitgleich wird Wissenschaft im öffentlichen Diskurs immer wichtiger, weil sie durch ihre enge Verknüpfung mit den Ingenieurs- und Technikwissenschaften immer mehr Anwendungspotential bietet. So gesehen ist Wissenschaft gleichzeitig aufstrebend. Diese Wissenschaft wird beherrscht von der Verschmelzung zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung.[175] Das heißt, die Fragestellung wissenschaftlicher Forschung wird oft bestimmt durch den Anwendungsbezug und wird so von außen vorgegeben. Mit Hilfe der Wissenschaften sollen gesellschaftliche Zwecke erfüllt werden, ganz so wie es von Bacon bereits gefordert wurde. Wissenschaft und Gesellschaft gehen so Hand in Hand, wie die folgende Abbildung veranschaulicht.[175]

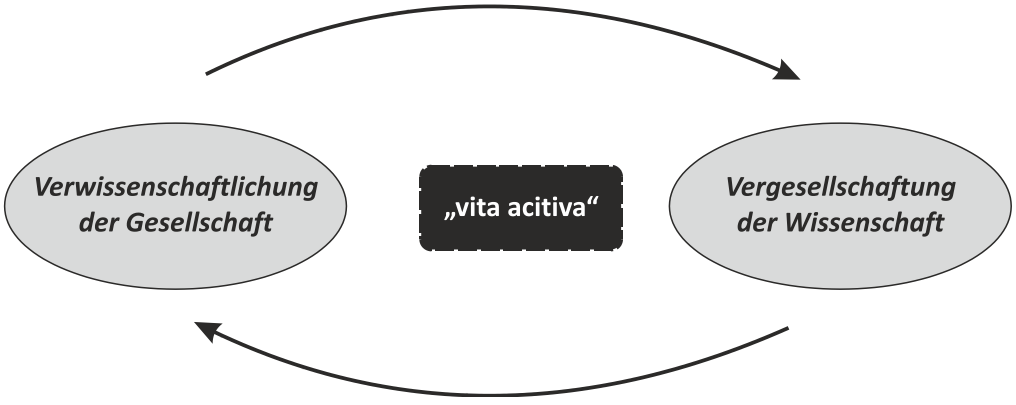


Abb. 74: Verhältnis zwischen Gesellschaft und Wissenschaft

Hier wird Wert darauf gelegt, dass die Forschungsgegenstände nicht mehr kontemplativ entdeckt werden, sondern dass Wirklichkeit und Wahrheit selbst produziert wird. Es stellt sich die Frage, ob das wirklich etwas ist, was ganz grundsätzlich neu für das heutige Wissenschaftsverständnis ist.

Bereits Galilei ging schon den Weg vom kontemplativen zum aktiven. Das, was die heutige *vita activa* von der gallileischen unterscheidet, ist nicht nur der theoretische sondern auch der praktische Anwendungsbezug. Sowohl Galilei sondern als auch Bacon wollten anwendungsbezogene Forschung. Aber wie praxisorientiert war Wissenschaft damals wirklich? Wer stellte die Fragen, die letztlich zu Forschungsfragen wurden? Heute werden (viele) Fragen der wissenschaftlichen Forschung tatsächlich implizit und explizite von der Gesellschaft gestellt. Das führt zu einer Vergesellschaftung der Wissenschaft. Andererseits wird die Gesellschaft immer mehr dominiert von Produkten, die direkt und indirekt auf wissenschaftliche Forschungsprozesse zurückgeführt werden, was zu einer Verwissenschaftlichung der Gesellschaft führt. An dieser Stelle ist es vielleicht sinnvoll, noch eine weitere Differenzierung zu treffen. Versteht man Wissenschaft nicht zwangsläufig und vor allem nicht nur als das Streben nach Wissen, das zu direkter gesellschaftlicher Anwendung führt, sondern ist Wissenschaft auch etwas, das eine Berechtigung aus sich selbst heraus hat, als ein System, das nach neuer Erkenntnis auch dann streben darf, wenn der Anwendungsbezug weit entfernt oder, vor allem in der Grundlagenforschung, erst einmal nicht gegeben ist, dann handelt es sich vielleicht nicht direkt um eine Verwissenschaftlichung der Gesellschaft, sondern um eine Technisierung. In dieser Hinsicht müsste das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Technik genauer untersucht werden. Wer stellt hier die Frage an wen und wer setzt das Ziel fest? Das, was in der Gesellschaft letztendlich ankommt, ist neben wissenschaftlichen Erkenntnissen vor allem auch die Technik.
In diesem Zusammenhang soll ein Phänomen Erwähnung finden, dass hier die Diskussion erschwert. In vielen Zusammenhängen wird „Wissenschaft“ in der Literatur diskutiert. Vor allem im deutschsprachigen Raum wird schnell klar, dass als „Wissenschaft“ oft die Naturwissenschaften im Besonderen thematisieren werden. Es stellt sich die Frage nach dem „Platz“ der Geisteswissenschaften. Dabei handelt es sich eigentlich um ein Problem des Sprachgebrauches. Redet man von Verwissenschaftlichung der Gesellschaft meint man schnell die Technisierung der Gesellschaft. Darüber kann schnell in Vergessenheit geraten, dass die geisteswissenschaftliche Forschung ebenso in die Gesellschaft spielt. Die Naturwissenschaften scheinen jedoch durch die Technik die Gesellschaft und vor allem den Einzelnen viel schneller zu erreichen.

Die Frage nach dem Nutzen der Wissenschaften wird heute anders gestellt, als das zur Zeit der wissenschaftlichen Revolution der Fall war und auch anders, als es noch in den 1970er oder 1980er Jahren war.[176] Heute ist die Frage nicht mehr nur ökonomisch relevant. Sie hat ihre Relevanz zum Beispiel auch in Fragen der Ökologie. Gleichzeitig wird die Verantwortung der Wissenschaft diskutiert. Und an diesem Punkt kann man sich der Fragestellung nach dem Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Ethik wohl am besten nähern.
Die eigentliche Frage ist: Wie kann ein moralisches Urteil über Wissenschaft, wissenschaftliche Prozesse und über wissenschaftliche Produkte aussehen? Vielleicht muss man auch noch einen Schritt zurückgehen und sich fragen, ob man über Wissenschaft überhaupt ein moralisches Urteil fällen kann. Da es sich beim moralischen Urteil in Hinsicht auf die Wissenschaft um ein praktisches

Urteil handelt, zielt es auf Handlungen ab.[177] Wichtig ist hier zu unterscheiden: das Urteil zielt nicht auf die Inhalte ab. Damit wird nicht der wissenschaftliche Inhalt als gut oder schlecht qualifiziert, sondern das, was mit dem wissenschaftlichen Produkt gemacht wird. Darum ist das Verhältnis zwischen (Natur-)Wissenschaft und Ethik auch problematisch. Im Idealfall ist der Inhalt von Wissenschaft neutral und damit frei von normativen oder handlungsbezogenen Absichten. Trotzdem soll und muss sie sich dem ethischen Urteil stellen. Hier soll die Ethik ihre Pflicht tun, sie soll sagen, wie gehandelt werden soll. Im Speziellen: wie soll in Hinsicht auf den wissenschaftlichen Gegenstand gehandelt werden? Was neutral ist, hat zunächst keinen moralischen Wert. Erst die Handlung macht es zu einem moralischen Gegenstand. Um zu einer moralischen Norm zu gelangen, können folgende vier Ebenen durchlaufen werden:[178]

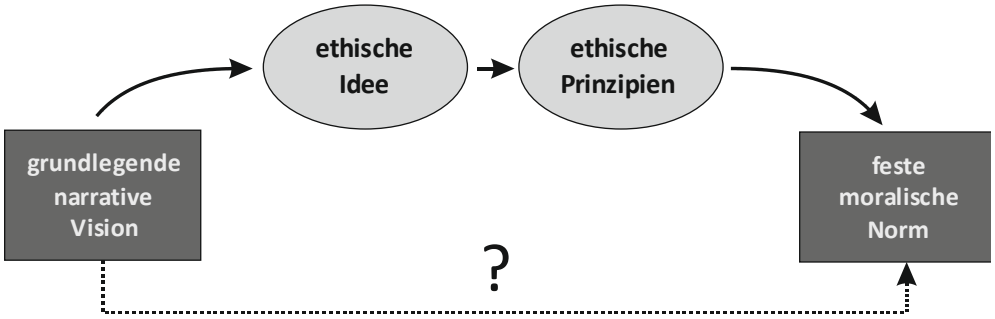


Abb. 75: Vier ethische Ebenen

Am Anfang steht eine grundlegende narrative Vision aus der am Ende eine feste moralische Norm werden soll. Dies geht nur über zwei in der Abbildung veranschaulichte Zwischenschritte. Unter ethischer Idee kann man zum Beispiel die von Aristoteles in der nikomachischen Ethik vorgeschlagene „Sorge um den Freund“ verstehen. Um diese Idee zur Regel machen zu können, kann man sich ethischer Prinzipien wie Autonomie, Würde oder Verletzlichkeit bedienen. Mit Hilfe dieser Prinzipien kann die Frage beantwortet werden wie genau die Idee verwirklicht werden soll. Schließlich wird aus diesen Überlegungen die ethische Norm abgeleitet. Beispielhaft könnte man sich den Vorgang wie folgt vorstellen:

1) Narrative Vision
   Es ist klar: irgendwie muss damit umgegangen werden, dass der Mensch in der Lage ist die Natur zu zerstören.
2) Ethische Idee
   Der Mensch muss die Natur bewahren.

3) Ethisches Prinzip
   Der Mensch trägt die Verantwortung, weil die Natur durch seine Macht ihr Gegenüber verletzlich ist (Die ethischen Prinzipien wären hier: Verantwortung, Macht und Verletzlichkeit).

4) Ethische Norm

Wir sind verpflichte die Natur zu schützen, weil sie in unserem Machtbereich liegt.

Die hier vorgeschlagenen Stufen beanspruchen kein Recht auf Vollständigkeit. Es handelt sich lediglich um ein Beispiel, um zu veranschaulichen, wie der Weg zur Norm beschritten werden kann. Immer geht es um die Handlung als solche und nicht um den Inhalt wissenschaftlicher Forschung.

Das zuletzt dargestellte Fazit der ethischen Ebenen, erinnert stark an Hans Jonas, der vor allem durch seine Schriften über „Das Prinzip, Verantwortung" bekannt ist. In seinen Arbeiten wird Naturwissenschaft und Technik in den konkreten Zusammenhang zur Ethik gebracht. Hans Jonas soll als Beispiel dafür dienen, wie Naturwissenschaft heute auf Ethik bezogen wird kann. (Es soll nicht abgesprochen werden, dass es weitere, neuere Beispiele an Forschung im Bereich Naturwissenschaft und Ethik gäbe. Im Gegenteil: die Menge an Literatur zu diesem Thema ist sehr vielfältig. Das Modell von Hans Jonas ist jedoch eines, auf das viele Forscherinnen und Forscher in diesem Gebiet zurückgreifen. Bei genauer Betrachtung der Literatur wird doch eines klar: ob mit Jonas oder nicht, der Begriff der Verantwortung steht stark im Mittelpunkt. Deshalb wurde hier Hans Jonas als Beispiel gewählt. Wiederum besteht natürlich kein Anspruch auf Vollständigkeit, die Ausführungen sind exemplarisch zu verstehen.)
Jonas postuliert, dass eine neue Ethik benötig wird. Er nennt dafür vier Gründe:[179]

1. Technik beinhaltet viel Macht
2. Die Natur ist verletzlich, wir als Menschen haben Macht über sie
3. Säkularisierung der Natur
4. Wir können die Auswirkungen unseres Handelns nicht absehen

Diese vier Gründe beziehen sich vor allem auf die neu entstandene Technik und auf die Handlungsmöglichkeiten, die sich aus ihr ergeben haben. Der Mensch hat potentiell mehr Macht, die er durch technische Hilfsmittel auf die Natur und auf sich selbst ausüben kann. Die Natur wird nicht mehr als heilig angesehen, bereits bei Galilei zeichnete sich die Säkularisierung der Natur ab. Ein Problem, was heute auch in der Theologie diskutiert wird. Jonas ist der Ansicht, dass wir Verantwortung für die Natur haben, weil sie den Innovationen des Menschen gegenüber verletzlich ist. Außerdem ist er der Ansicht, dass „die Kluft zwischen der Kraft des Vorherwissens und der Macht des Tuns […] ein ethisches Problem" erzeugt.[179] Das bedeutet: der Mensch weiß weniger, als er kann. Die Natur rückt mehr in die Verantwortung, weil niemand wissen kann, was geschieht, wenn bestimmte Handlungen ausgeführt werden.
„Wie sollen wir handeln?" ist wieder die zu stellende Frage. Neben Jonas rückt in der aktuellen Diskussion auch immer wieder der Utilitarismus in den Vordergrund. Der Utilitarismus, mit seinem Prinzip des maximalen Glücks, gibt vor, immer so zu handeln, dass maximales Glück entsteht.[180] Jeremy Benthman, einer der bekanntesten Vertreter des Utilitarismus, diskutiert in seinem Werk

„Introduction to the Priciples of Morals and Legislation“ den Glücksbegriff und ebenso den Begriff des Nutzens.[181] der Nutzen kann demnach eine Handlung legitimieren, wenn er maximales Glück hervor bringt. Somit gehört der Utilitarismus nicht nur den Strömungen der eudaimonistischen Ethik, sondern auch der konsequentialistischen Ethik an. Handlungen werden normativ und moralisch bewertet. Eine besondere Form des Utilitarismus ist dabei der Regelutilitarismus, der konkret nach Handlungsregeln fragt. Dabei werden die Konsequenzen der Handlung abgewogen und eine Handlung ausgewählt, die maximalen Nutzen bringt.[182] Mit Jonas könnte eine Regel zum Beispiel sein, keine Technik umzusetzen, deren Folgen in Zeit und Raum man nicht abschätzen kann. Damit wären die Handlungsmöglichkeiten aber maximal eingeschränkt, weil man nur selten wirklich eine konkrete und zuverlässige Abschätzung machen kann. Regelutilitaristisch müsste man dann auf die Handlung verzichten. Ebenso auch im negativ-utilitaritischen Sinne, da hier das Leid minimiert werden soll. Nach dem klassischen Utilitarismus könnten hingegen die Vorteile und der Nutzen der Handlung so stark sein, dass in der Summe die Handlung als moralisch vertretbar gewertet werden kann. Hier wird allgemein der Nutzen über alle Beteiligten Personen summiert.

Jonas erklärt zudem, dass die Natur ein Eigenrecht auf ihre Existenz hat. Er differenziert zwischen dem Verantwortungssubjekt, dem Mensch, der die Verantwortung übernimmt und dem Verantwortungsobjekt, hier im Beispiel die Natur, welche Objekt der Verantwortung ist. Während das Verantwortungsobjekt relativ klar umrissen ist, es handelt sich nämlich immer um das, was im Machtbereich anderer steht, ist die Frage nach dem Verantwortungssubjekt nicht immer leicht zu beantworten. Gerade in Hinsicht auf die Wissenschaft stellt sich die Frage nach dem Verantwortungssubjekt ganz neu. Wer hat die Verantwortung im wissenschaftlichen Kollektiv? Die Forschungsgruppe, von welcher die theoretische Entwicklung stammt? Die Ingenieure, welche eine nutzbare Technik daraus entwickelt haben? Zudem kann diskutiert werden, welche Rolle die Politik dabei spielt, die zum Beispiel eine Markteinführung zuließ. Glaubt man dem Satz: nur die Handlung kann moralisch bewertet werden und versteht man Verantwortung als ein moralisches Prinzip, dann müsste man schlussfolgern, dass derjenige die Verantwortung hat, der die Handlung ausführt. Die Handlung kann aber auch sein, etwas mit dem Wissen zu entwickeln (zum Beispiel der Weg von der theoretischen Entdeckung der Kernspaltung zur Atombombe) oder das „fertige Produkt“ wirklich zu gebrauchen (zum Beispiel das Einsetzen der Atombombe zu militärischen Zwecken). Die Verantwortung kann und soll nicht von den Wissenschaften losgelöst werden. Durch die enge Verknüpfung mit der Gesellschaft, also durch die Vergesellschaftung der Wissenschaften, kann sie aber auch nicht separiert vom Anwender betrachtet werden.
Dass die Technik tatsächlich „ein Fall für die Ethik“ ist, zeigt Jonas an fünf konkreten Punkten aus, welche in folgender Abbildung dargestellt sind.[183, 184] Zunächst führt Jonas die Ambivalenz der Wirkung ins Feld. Auch wenn Technik mit guten Absichten entwickelt wurde, kann sie doch böswillig eingesetzt werden. Unter Zwangsläufigkeit der Anwendung meint er, dass, wenn Technik erst einmal entwickelt wurde, sie auch zur Anwendung kommen muss. Er versinnbildlicht dies mit dem

Bild des „Atmenkönnens und Atmenmüssens“. Es ist zu hinterfragen, ob das tatsächlich so der Fall ist. In der heutigen Zeit der Ethikkommissionen wird Technik klar eingegrenzt. Man denke nur an die Möglichkeit des Klonens. Da handelt es sich um ein Können aber trotzdem um ein Nicht-Tun (zumindest in bestimmten Bereichen). Bleibt die Frage offen, ob das auch auf lange Zeit gilt. Unumstritten ist wohl, dass die Ausmaße von Technik schwer abgeschätzt werden können. Technik berührt nicht mehr nur ein kleines Subsystem, sondern hat globale Ausmaße in Raum und in Zeit. Oft ist nicht abzusehen, welche Wirkung Technik in globaler Hinsicht haben wird, noch kann klar gesagt werden, welche Auswirkungen Technik in der Zukunft hat. Jonas sagt deutlich, dass in diesem Fall den Unheilsprophezeihungen mehr Gehör geschenkt werden soll als den Heilsprophezeihungen. Hinzu kommt, dass die Anthropozentrik klar durchbrochen ist. Nicht mehr nur der Mensch steht im Mittelpunkt seines Handelns. Die Sorge gilt nicht mehr nur dem Wohlergehen des Menschen, sondern sie gilt der gesamten Biosphäre. Daraus ergibt sich die metaphysische Frage neu: soll es überhaupt eine Menschheit geben und wenn ja warum?

Abb. 76: Gründe dafür, dass die Technik ethisch relevant ist

Durch diese kurze Betrachtung sollte klar geworden sein, dass Ethik und (Natur-)Wissenschaft bzw. Technik auch heute nicht voneinander zu trennen sind, auch wenn sie im Kanon der Wissenschaft zwei oder mehrere verschiedene Disziplinen sind. Dabei soll folgende Bemerkung nicht vergessen werden: Auch bei der Ethik handelt es sich um eine im akademischen System anerkannte und etablierte Wissenschaft. Hier wird nicht Wissenschaft gegen Nicht-Wissenschaft abgewogen. Darum ist wichtig zu erwähnen, dass es auch bei Hans Joans explizit um die Betrachtung zwischen Naturwissenschaft und Ethik geht. Also um den Vergleich zweier Wissenschaften innerhalb des wissenschaftlichen Systems. Sie treffen sich auf Augenhöhe, auch wenn diskutiert werden kann, ob sie demselben Boden entspringen oder auf verschiedenen Böden gewachsen sind. In Antike und Mittelalter wurde die Einheit der Wissenschaften noch als evident angenommen. Man nahm die Welt als Einheit wahr, entweder als kosmisch oder als göttlich gegeben. Heute wird mit der Idee der Interdisziplinarität die Einheit der Wissenschaft wieder neu betont.[185] Wenn man so will, könnte man die Disziplinen innerhalb des wissenschaftlichen Systems wie folgt betrachten:[186]

„Rather than envisaging boundaries between disciplines, we could promote the concept that disciplines provide homes within the larger learning community because they determine the domain of knowledge […].“

Neben der Besinnung auf “einen gemeinsamen Boden“ werden für interdisziplinäre Forschung immer wieder verschiedene positive Gründe genannt. Darunter hauptsächlich die Erweiterung grundlegenden Wissens und das Lösen von Problemen.[187] Auch in der Hochschullehre kann Interdisziplinarität von Vorteil sein. Durch die Übernahme der Perspektive des anderen Fachs, kann die eigene Perspektive erneuert werden. Es ist möglich Organisationsprozesse aus anderen Bereichen zu übernehmen, um Probleme im eigenen Bereich zu lösen. Forschungstechniken aus anderen Gebieten können benutzt werden, genauso wie theoretische Rahmenmodelle.[188] Diese Vorteile können für Forschung und Lehre gültig sein. Man kann hier etwas über das Wesen von Interdisziplinarität herauslesen. Sie meint nicht, die eigene Expertise aufzugeben. Es lösen sich hier keine Disziplinen in anderen auf.
Allerdings ist Interdisziplinarität ein Begriff, der selten eindeutig gebraucht wird. Folgende Definition wird häufig als Arbeitsdefinition angenommen:[189]

„Ausgehend von den Disziplinen definiert sich Interdisziplinarität dann durch das (zeitlich begrenzte) Zusammenwirken von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen. Transdisziplinarität inkludiert zudem außerwissenschaftliche Formen des Wissens, sowohl in seiner Erzeugung als auch in seiner Bewertung. Gleichwohl bleiben beide Formen der Wissensproduktion angewiesen auf Disziplinen als Ausgangspunkt und auch als Ort der Rückbindung: Inter- oder transdisziplinär erzeugtes Wissen muss langfristig eine neue Disziplin ausbilden oder aber von bestehenden Disziplinen aufgenommen werden und diese verändern, ansonsten geht es der Wissenschaft verloren.“

Letzteres sieht man deutlich an neu auskommenden Fächern an Universitäten oder an neuen Bereichen innerhalb schon bestehender Disziplinen. Vielleicht ist das dann auch nur eine Frage der Definition. Forscherinnen und Forscher auf einem neuen Gebiet institutionalisieren sich auf die eine oder andere Weise.
Dabei ergibt und ergab sich Interdisziplinarität von selbst, nämlich anhand von gesellschaftlichen Fragestellungen, zu deren Beantwortung mehrere FachexpertInnen herangezogen werden mussten. Über bestimmte Fachbereiche hinweg scheint es jedoch oft so, dass die Ausgangssituationen, die wissenschaftliche Methodik, die Fachsprache und vieles mehr zu divergent sind, als dass Interdisziplinarität möglich wäre. Hier kann der Begriff der Metadisziplinarität aufgeführt werden, ein Treffen quasi „auf halbem Weg“.[190]
Folgende Abbildung fasst zusammen, wie die einzelnen Begriffe folgt definiert werden können.

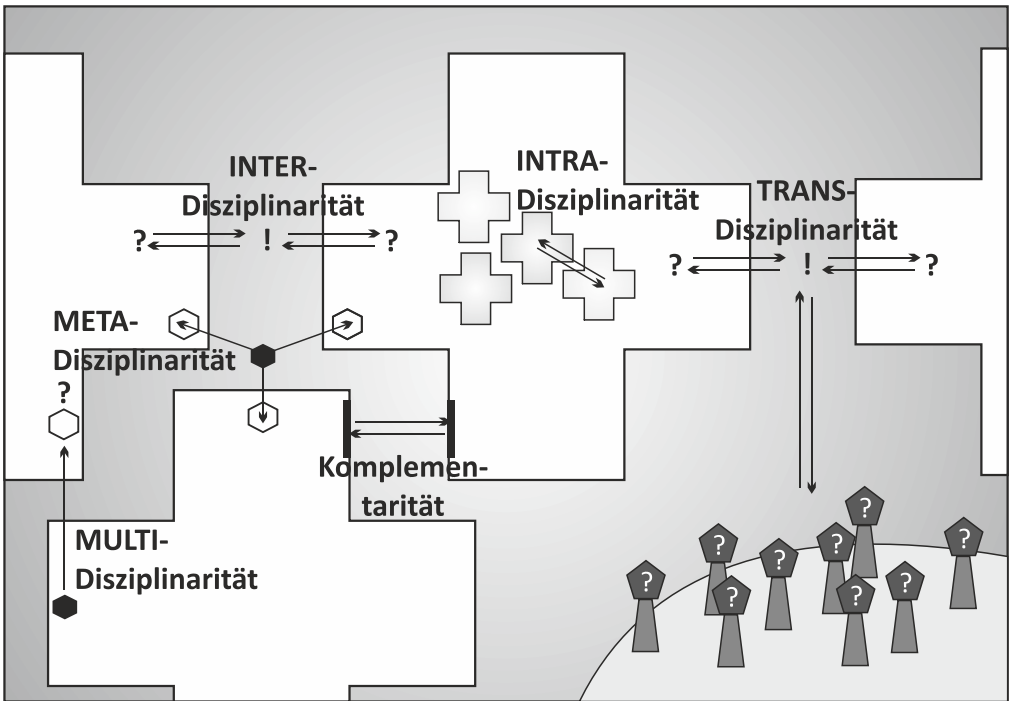


Abb. 77: Begriffsbestimmung Interdisziplinarität, Intradisziplinarität, Transdisziplinarität, Multidisziplinarität, Metadisziplinarität und Komplementarität

Der Begriff der Interdisziplinarität ist wohl mit Abstand der geläufigste. Viele Forschungskooperationen werden als interdisziplinär beschrieben, ohne dass der Begriff näher beschrieben wird. Unter Interdisziplinarität kann, wie die obige Definition sagt, eine zeitlich begrenzte Arbeit an einer gemeinsamen Forschungsfrage verstanden werden. Motor ist die Suche nach Wahrheit in der jeweiligen Disziplin (diese sind in der obigen Abbildung als weiße Kreuze dargestellt). Jede Disziplin kommt mit ihrer Forschungsfrage, zu deren Beantwortung Expertise aus anderen Fachbereichen nötig ist. Nach der Forschungskooperation hat jeder für seinen eigenen Fachbereich spezifische Erkenntnisse gewonnen. Davon zu unterscheiden ist der Definition nach der Begriff der Intradisziplinarität. Dabei handelt es sich um die Forschungskooperation zwischen zwei Bereichen innerhalb einer Disziplin (zum Beispiel zwischen Anorganischer und Organische Chemie oder zwischen Systematik und Bibelwissenschaften). Diese Art von Kooperationen wird im Umgangssprachgebrauch häufig als interdisziplinär bezeichnet. Der Bereich der transdisziplinären Forschung beinhaltet dieselbe Vorannahme, wie der Bereich der interdisziplinären Forschung. Diese Forschungskooperationen gehen also aus von dem Fach spezifischen Fragestellungen. Zusätzlich kommt jedoch hinzu, dass diese Fragestellungen nicht nur für verschiedene Fächer, aus unterschiedlichen Perspektiven, epistemisch interessant sind, sondern dass sie eine besondere gesellschaftliche Relevanz tragen. Die Lösung der Frage soll zu einer Veränderung in der Gesellschaft führen. Anderes herum aber auch: gesellschaftliches Wissen soll in der Fragestellung zur Anwendung kommen. So gibt es eine Rückkopplung in mehrfacher Hinsicht. Einerseits nimmt jede Disziplin etwas „für sich mit“, neue Wahrheiten und entsprechend neu produzierte Erkenntnis

für das eigene Fach. Zum anderen ist die Fragestellung direkt gesellschaftsrelevant. Hier wird in der Literatur der Begriff der integrativen Forschung angeführt. [191] Der integrative Zugang setzt sich zusammen aus dem lebensweltlichen Zugang, also aus den Fragen, die sich gesellschaftlich ergeben, und dem wissenschaftszentrierten Zugang, also aus dem Streben nach neuen epistemischen Erkenntnissen in allen beteiligten Disziplinen. Transdisziplinarität vereinigt also Interdisziplinarität und gesellschaftliche Belange. Abgesehen von diesen beiden großen Bereichen tauchen in der Literatur noch weitere Formen von –Disziplinarität auf, die in der Abbildung ebenfalls dargestellt sind. Folgende Ebenen können benannt werden:

Ebene 1: Disziplinarität

- Er handelt sich um das Behandeln von Forschungsfragen, die nur und auch methodisch ausschließlich das eigene Fach betreffen.
- *Beispiel*: Synthese von Glycanstrukturen (rOganische Chemie)

Ebene 2: Intradisziplinarität

- Es handelt sich um Forschungskooperationen innerhalb einer Disziplin aber zwischen verschiedenen Bereichen dieser Disziplin. Das Ziel ist die Lösung der disziplineigenen Fragestellung zur Gewinnung von disziplineigenem, epistemischen Wissen.
- *Beispiel*: Die Verwendung von analytischen Methoden zur Sicherstellung des Syntheseergebnisses (Organische Chemie und Analytische Chemie).

Ebene 3: Multidisziplinarität

- Es handelt sich um die Verwendung disziplinfremder Methoden zur Lösung disziplineigener Fragestellung und zur Generierung von disziplineigenem, epistemischen Wissen.
- *Beispiel*: Messung der biologischen Aktivität der Glycanstrukturen mit Hilfe biologischer Messmethoden (Chemie und Biologie).

Ebene 4: Metadisziplinarität

- Es handelt sich um die Entwicklung (hauptsächlich) von Methoden, die nicht ausschließlich einer Disziplin zuzuordnen sind, die aber gleichermaßen von verschiedenen Disziplinen genutzt werden können. Ziel ist nach wie vor die Lösung des disziplineigenen Problems.
- *Beispiel*: Anpassung einer physikalischen Methode an biologische und chemische Bedürfnisse zur Glycananalytik.

Ebene 5: Interdisziplinarität

- Es handelt sich um Forschungskooperationen, in denen jede Disziplin gleichermaßen eine epistemische Frage aus der eigenen Disziplin mitbringt, welche aber gemeinsam

bearbeitet wird. Ziel ist neben der Lösung der disziplineigenen Fragestellung die Gewinnung von Erkenntnis, die nicht eindeutig einer Disziplin zugeordnet werden kann.

- *Beispiel*: Die Untersuchung von synthetischen Glycanstrukturen für den menschlichen Organismus (Chemie und Medizin).

Ebene 6: Transdisziplinarität

- Es handelt sich um Forschungskooperationen, die neben jeweils disziplinspezifischen Fragestellungen auch Bezug zu lebensweltlichen Problemen nehmen. Ziel ist sowohl das Gewinnen epistemischer Erkenntnis in der jeweiligen Disziplin, als auch das Lösen lebensweltlicher Probleme durch eine konkrete Anwendung.
- *Beispiel*: Untersuchung der synthetischen Glycanstrukturen in Hinsicht auf ihre Einsetzbarkeit in der Lebensmittelindustrie (Chemie, Ernährungswissenschaften, Gesellschaft).

Wie man sieht, kann Über-Disziplinäre Kooperation auf unterschiedlichen Ebenen ablaufen. Die Definitionen für alle gegebenen Fachbegriffe werden in der Literatur mit kleinen Unterschieden diskutiert. Das hier vorgestellte Ebenenmodell versucht die Gemeinsamkeiten zu unterstreichen und den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Begriffen zu verdeutlichen. Umgangssprachlich und in der wissenschaftlichen Praxis scheint der Begriff der Interdisziplinarität am häufigsten gebraucht zu sein. Viele Forschungskooperationen werden als interdisziplinär bezeichnet. Wissenschaftstheoretisch müsste hier genau nachgefragt werden, um welche Art von Zusammenarbeit es sich handelt.

Nun stellt sich die Frage danach, inwieweit das Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Ethik in diesem Schema wiederzufinden ist. Dass beide Bereiche einen engen Zusammenhang zueinander haben, ist unumstritten. Ebenfalls unumstritten dürfte sein, dass beide Wissenschaften komplementär zueinander stehen. Unter Komplementarität kann hier verstanden werden, dass beide Bereiche aneinander angrenzen. Man könnte diskutieren, inwiefern dieser Übergang zwischen den Disziplinen in Bezug auf einzelne Themen kontinuierlich oder klar abgegrenzt ist. Hier soll aber vor allem festgehalten werden, dass es besondere Thematiken gibt, die epistemisch für beide Bereiche relevant sind. Wenn im Folgenden danach gefragt wird, welche Art von –Disziplinarität für die Verbindung zwischen Naturwissenschaft und Ethik in Frage kommt, wird vor allem auf die technischen und technologischen Erzeugnisse von Naturwissenschaft verwiesen. Es wird natürlich nicht abgesprochen, dass es darüber hinaus auch theoretische Verbindungen zwischen einzelnen Fächern an der Universität gibt. Doch in Hinsicht auf das zuvor diskutierte, nämlich darauf, dass Naturwissenschaft im historischen Verlauf immer mehr an gesellschaftlicher Relevanz eben durch die Technisierung erfährt, liegt der Augenmerk auf eben diesem Zusammenhang.

Beim Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Ethik handelt es sich in dieser Hinsicht nicht um Interdisziplinarität, wie sie oben diskutiert wurde. Ethik und Technik treffen (in der Regel) nicht zusammen, weil beide gleichermaßen ein epistemische Interesse haben, dass es mit Hilfe des jeweils anderen zu klären gilt. Es handelt sich hier auch nicht um den Austausch von Methoden in welcher Art und Weise auch immer, weshalb Formen von Meta- oder Multidisziplinarität ebenfalls auszuschließen sind. Weil eben der wesentliche Bestandteil der Interdisziplinarität nicht erfüllt ist, kann es sich auch nicht um Transdisziplinarität im klassischen, oben definierten Sinne handeln. Was aber am Verhältnis zwischen Naturwissenschaft bzw. Technik und Ethik an Transdisziplinarität erinnert ist der Lebensweltliche Bezug. Aus diesem lebensweltliche Bezug ergibt sich nicht nur die Möglichkeit zur gegenseitigen Wahrnehmung, sondern auch die Notwendigkeit dazu. Diese Notwendigkeit entsteht dadurch, dass sich die Disziplinen, wie bereits gesagt, komplementär zueinander verhalten. Das heißt, sie grenzen aneinander an. Und im Umkehrschluss ist es auch diese Komplementarität die am Ende den lebensweltlichen Bezug schafft.

Wenn es sich aber nicht um die oben formulierten Möglichkeiten handelt in gegenseitigen Kontakt zu treten, wie kann das Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Ethik dann beschrieben und definiert werden? Wenn Naturwissenschaft und Ethik in Kontakt treten, dann in der Regel mit zeitlicher Verzögerung. Das heißt: wenn eine Bestimmte Entwicklung der Technik bereits entstanden ist, wird sie ein Fall für die Ethik. Sie muss sich im Nachhinein einer ethischen Bewertung unterziehen, damit die Handlungen, die gesellschaftlich durchgeführt werden, moralisch zu bewerten und schließlich auch normativ zu reglementieren. Kurz, es handelt sich zwar um ein Zusammentreffen zweier Wissenschaften, aber nicht beide Wissenschaften sind gleichermaßen an der Kooperation beteiligt. Nicht beide haben dasselbe Interesse. Die eine Disziplin redet über das, was die andere geleistet hat und zwar im Sinne einer Post-Kommunikation. Also erst dann, wenn das Geleistete schon seine Potentialität erreicht hat. Will man das Verhältnis in Anlehnung an die oben gezeigte Grafik darstellen, könnte das wie in Abbildung 78 gezeigt aussehen. Von der Gesellschaft werden Fragen und Probleme aufgeworfen, welche naturwissenschaftliche und technische Domänen ansprechen. Das können Fragen im Bereich der Medizin (neue Arzneimittel o.Ä.) oder auch im Bereich der Technik selbst (zum Beispiel in Form von Unterhaltungsmedien) sein. Die Naturwissenschaft reagiert darauf mit lebensweltlich bezogener Forschung und gibt ihren Output in Form von neuen Entwicklungen an die Gesellschaft zurück. An welcher Stelle greift dort die Ethik? Die Ethik interessiert sich für die Entwicklungen der Naturwissenschaft. Wie diskutiert, kommt hier die Ethik erst zur Sprache nach der Entwicklung, es ist das Reden über bereits Entwickeltes. In manchen Fällen ist es sogar das Reden über Entwicklungen, die schon in die Handlungen übernommen wurde, die also bereits in der Gesellschaft angekommen sind. In manch anderen Fällen interveniert die Ethik noch bevor die Entwicklung den Markt erreicht (zum Beispiel im Fall der Präimplantationsdiagnostik). Die Ethik gewinnt dabei für sich disziplineigenes epistemisches Wissen. Das ist auf Seiten der Naturwissenschaft nicht der Fall. Dadurch, dass sich die Ethik mit den Entwicklungen der Naturwissenschaft beschäftigt, gewinnt letztere kein neues

epistemisches Wissen in ihrer Disziplin. Trotzdem bleibt sie von den Forschungen der Ethik nicht unberührt. Gegebenenfalls muss sie darauf reagieren, muss Technik anpassen, muss sich rechtfertigen oder darf Entwickeltes nicht zur Anwendung bringen.

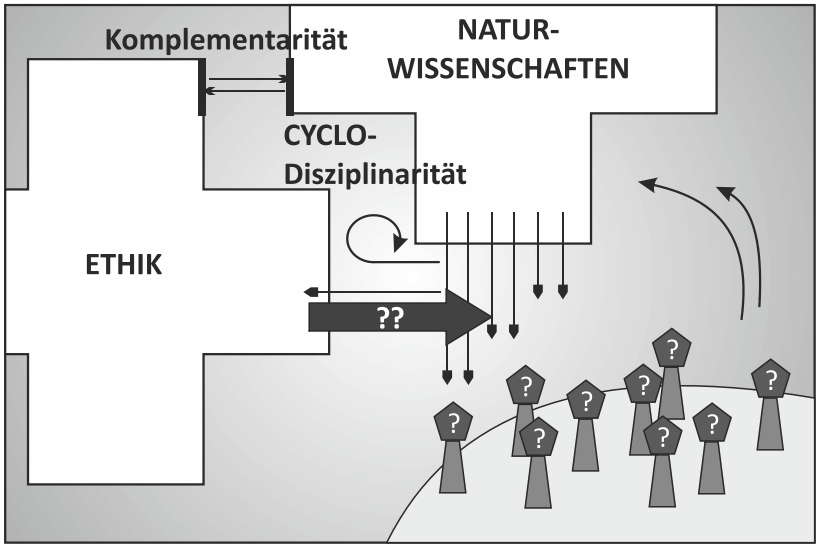


Abb. 78: Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Ethik und „Cyclo-Disziplinarität“

Die Ethik fungiert hier oft in Form von Ethikkommissionen als Kontrollinstanz. Die Wechselwirkung zwischen Ethik und Naturwissenschaft ist so ein „Hin-und-Her“ bzw. sie beschreibt einen Zyclus. Dabei geht es um Aktion und Reaktion und nicht um das Generieren von Wissen an sich. Man kann deshalb, wenn man einen treffenden Begriff einführen möchte, die Wechselwirkung zwischen Ethik und Naturwissenschaft heute als „Cyclo-Disziplinarität“ beschreiben.

Kapitel 3

Empirische Erhebungen: Metaebene bzw. Anayseebene empirischer Didaktik

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse folgender Erhebungen dargestellt:

- **Erhebung unter SchülerInnen mittelhessischer Schulen**
- **Erhebung unter LehrerInnen mittelhessischer Schulen**
- **Erhebung unter Studierenden des Lehramts an der Justus-Liebig-Universität Gießen**
- **Erhebung unter Promotionsstudierenden der Justus-Liebig-Universität Gießen**

Die Fragestellungen der Erhebungen können Kapitel 1 entnommen werden. Es handelt sich bei allen Erhebungen um quantitative Studien. Zu jeder Erhebung wird die Methodik zugrunde gelegt und die Fragebogenkonstruktion beschrieben. Nach der Vorstellung der Ergebnisse werden diese einzeln diskutiert und anschließend in Zusammenhang gebracht.
Es handelt sich hier um die Erfassung der Situation an mittelhessischen Schulen bzw. an der Justus-Liebig-Universität Gießen. In Hinsicht auf die theoretische Einteilung didaktischer Forschung geht es hauptsächlich um die Metaebene, bzw. um die Ebene der Analyse.

3.1 Empirische Erhebung unter SchülerInnen

3.1.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption und Erhebungsmethode

Anhand eines einseitigen Fragebogens wurden Schülerinnen und Schüler verschiedener Schulformen, Jahrgänge und verschiedenen Alters befragt. Die Stichprobe setzt sich wie folgt zusammen. Es wurden 1858 Schülerinnen und Schüler der Klassen 8 bis 13 befragt. Die größte Menge sind dabei die Neuntklässler und Neuntklässlerinnen mit 421. Die Menge der Schülerinnen und Schüler der achten und elften Klassen ist mit 385 und 372 etwa gleich. Aus der Klasse 13 nahmen mit 166 die wenigsten Schülerinnen und Schüler teil. Aus jeder Jahrgangsstufe wurden dennoch genug Daten erhoben, um jeweils eine repräsentative Gruppe vorzustellen (vgl. Abb. 79).

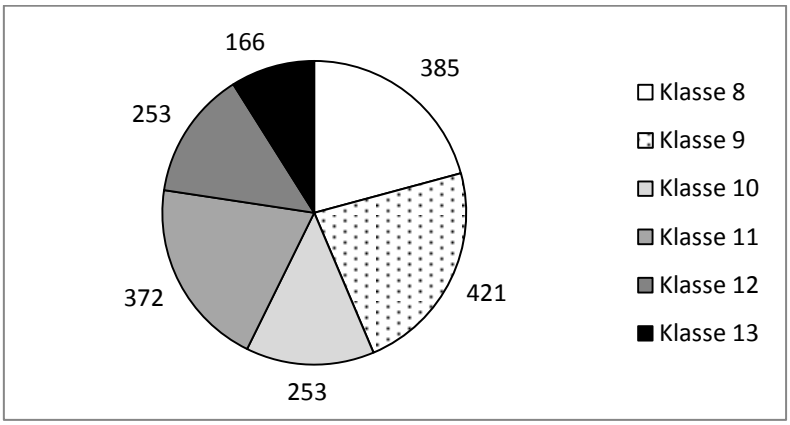


Abb. 79: Zusammensetzung der Stichprobe bezogen auf den Jahrgang. Angegeben wird N.

Die Erhebung wurde an neun verschiedenen Schulen unterschiedlicher Schulform durchgeführt. Unter den Befragten befanden sich 1516 Schülerinnen und Schüler aus Gymnasien oder im Fall von Gesamtschulen aus Gymnasialzweigen, 291 Schülerinnen und Schüler aus Realschulen oder Realschulzweigen und nur 37 Schülerinnen und Schüler der Hauptschule. Das Design der Befragungsgruppe kann in dieser Hinsicht also nicht als ausbalanciert angenommen werden, was in den folgenden Berechnungen berücksichtigt wird.

Unter den Befragten befanden sich zudem 1030 Schülerinnen und 818 Schüler. Auch wenn die Gruppengröße mit 55,7% und 44,2% unterschiedlich ist, ist sie doch vergleichbar, sodass auch Unterschiede in den Antwortstrukturen zwischen Schülerinnen und Schüler untersucht werden können.[b]

[b] **Die Angaben in Prozent verstehen sich in Bezug auf die Anzahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. D.h. die Prozentangaben mit Nachkommastelle entsprechen einer ganzzahligen Teilmenge an Peronen bezogen auf die Gesamtkohorte.**

Neben Daten wie dem Geschlecht, Jahrgang, Schulform und Lieblingsfach wurden Fragen zu Einstellungen bezüglich fächerübergreifendem Unterricht gestellt. Die Schülerinnen und Schüler antworteten durch Ankreuzen auf einer sechsstufigen, endverbalisierten Skala. Dem Fragebogen wurde die Annahme zugrunde gelegt, dass mehrere Items in eine gemeinsame Kategorie zusammengefasst werden können, was die anschließende Faktorenanalyse auch bestätigte (vgl. unten). Erfasst wurde die Grundmotivation der Schülerinnen und Schüler, ihre Bereitschaft aktiv am Unterrichtsgeschehen mitzuwirken und ihr Wunsch anwendungsbezogenes Wissen und anwendbare Fertigkeiten zu erlernen. Es wurde zudem abgefragt, inwieweit Schülerinnen und Schüler fächerübergreifende Ansätze erkennen, ob sie dem kritisch gegenüber stehen und ob sich Vorurteile bezüglich der Fächerstruktur verifizieren lassen. Die Kategorien mit den dazugehörigen Items werden im Abschnitt 3.1.2 genauer thematisiert.
Zuletzt wurden die Schülerinnen und Schüler gebeten vorgegebenen Themen Fächer zuzuordnen, in denen diese im Unterricht vorkommen könnten. Hier wurden Themen gewählt, die einen klaren interdisziplinären Bezug haben. Es soll erfasst werden, ob die Schülerinnen und Schüler den interdisziplinären Charakter erkennen und/oder ob die Themen entsprechend den Lehrplänen eingeteilt werden.

3.1.2 Ergebnisse

3.1.2.1 Lieblingsfach

Die Schülerinnen und Schüler wurden nach ihren Lieblingsfächern befragt. Sie wurden dazu aufgefordert ihr erstes und zweites Lieblingsfach anzugeben. Folgende Tabelle zeigt auszugsweise die Ergebnisse dieser Befragung.

Tab. 4: Lieblingsfach 1 und 2 (Angabe=N)

Lieblingsfach 1		**Lieblingsfach 2**	
Sport	431	*Sport*	271
Mathematik	266	*Mathematik*	240
Englisch	206	*Deutsch*	143
Deutsch	129	*Biologie*	138
Kunst	102	*Englisch*	136
Biologie; Physik; Chemie	zwischen 85 und 98	*PoWi*	119
Religion; PoWi; Geschichte	zwischen 79 und 72	*Kunst*	112
		Religion; Chemie; Geschichte; Physik	zwischen 96 und 84

In beiden Bereichen ist Sport das beliebteste Fach. Insgesamt 702 Schülerinnen und Schüler gaben Sport als Lieblingsfach an. Anschließend folgen im Bereich des ersten Lieblingsfachs die Hauptfächer. Mathematik befindet sich auf Platz zwei, insgesamt wurde es von 606 Schülerinnen und Schülern als Lieblingsfach genannt, obwohl Mathematik eigentlich im Verdacht steht ein eher unbeliebtes Fach zu sein. Ebenfalls häufig genannt wurde Kunst, sowohl als erstes als auch als zweites Lieblingsfach. Die Naturwissenschaften Biologie, Physik und Chemie rangieren im Bereich des ersten Lieblingsfaches in einer ähnlichen Größenordnung, ebenso wie Religion, Politik und Wirtschaft und Geschichte. Bei den zweiten Lieblingsfächern ist diese Kategorisierung so nicht mehr möglich. Biologie wird hier häufiger als Lieblingsfach genannt, ebenso wie Politik und Wirtschaft. Noch beliebter als Chemie, Geschichte und Physik ist hier Religion.

Untersucht man die Kategorisierung der Lieblingsfächer sowie die Kombinationsmöglichkeiten kommt man zu folgendem Ergebnis. Sowohl im ersten als auch im zweiten Lieblingsfach gaben 43,1% (gültige Prozent) der Schülerinnen und Schüler an eine Naturwissenschaft als Lieblingsfach zu haben. 56,9% (gültige Prozent) gaben an, dass ihr erstes oder zweites Lieblingsfach eine Geisteswissenschaft ist. Die Differenz von 13,8% Prozent ist also sehr deutlich. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass es mehr Fächer gibt, die als geisteswissenschaftliche Fächer eingestuft wurden. Zu den naturwissenschaftlichen Fächern zählen hier Biologie, Chemie, Physik, Erdkunde, Mathematik und Informatik. Außerdem wurden bestimmte Fächer keiner Kategorie zugeordnet so wie Sport, welches als eindeutiges Lieblingsfach benannt wurde.
In Kombinationen ausgedrückt, gaben 20,7% der Schülerinnen und Schüler an, zwei Naturwissenschaften als Lieblingsfächer zu haben. 38,4% gaben zwei Geisteswissenschaften an und 41% eine Natur- und eine Geisteswissenschaft. Die Anzahl derer, die eine gemischte Kombination angaben, ist also am größten. Obwohl allgemein davon ausgegangen wird, dass Personen häufig entweder für Naturwissenschaften oder für Sprachen und Geisteswissenschaften begabt sind, gaben doch die meisten Schülerinnen und Schüler an, nicht nur einen Bereich zu präferieren. Die Gruppe, die nur Naturwissenschaften als Lieblingsfächer angab, ist jedoch deutlich am kleinsten.

Betrachtet man die Kategorisierung des ersten Lieblingsfachs in Abhängigkeit der Schulform, fällt auf, dass die Differenz bei den Gymnasiasten am größten ist. Die Realschülerinnen und Realschüler gaben mit 50,6% (Naturwissenschaft) und 49,4% (Geisteswissenschaft) ihr erstes Lieblingsfach an. Zum einen ist hier die Differenz nicht sehr groß, zum anderen ist die Tendenz umgekehrt wie bei der gesamten Stichprobe. Es gaben also mehr Realschülerinnen und Realschüler an als erstes Lieblingsfach eine Naturwissenschaft zu bevorzugen. Mit einer Differenz von 11% gaben die Hauptschülerinnen und Hauptschüler an eine Geisteswissenschaft als erstes Lieblingsfach zu haben (mit 54,5%). Das entspricht weitgehend dem Schnitt über alle Befragten. Die Gymnasiasten gaben mit 41,8% eine Naturwissenschaft und mit 58,2% eine Geisteswissenschaft als erstes Lieblingsfach an. Die Differenz beträgt hier 16,4% und ist im Vergleich relativ hoch. Die Beliebtheit der

Naturwissenschaften nimmt hier also ab. Das kann eventuell abbilden, dass die Naturwissenschaften in der Oberstufe zu den Wahlpflichtfächern gehören und nicht alle Schülerinnen und Schüler in diesen Fächern unterrichtet werden. Diese Hypothese ist jedoch konkret an der Wahl der Lieblingsfächer in Abhängigkeit des Jahrgangs zu überprüfen (vgl. unten), da auch Schülerinnen und Schüler der Mittelstufe zu der Gruppe der Gymnasiasten zählen. Diese Tendenzen für die Gymnasialschülerinnen und -schüler ziehen sich über das zweite Lieblingsfach fort. Die Hauptschülerinnen und Hauptschüler gaben jedoch mit 51,6% eine Naturwissenschaft und mit 48,4% eine Geisteswissenschaft an. Hier unterscheidet sich die Antwortstruktur von der über die gesamte Stichprobe. Das Antwortverhalten der Realschülerinnen und Realschüler liegt hingegen mit 44,4% (NW) und 55,6% (GW) im Mittel über alle Befragten.

Vergleicht man die Wahl der Lieblingsfächer in Abhängigkeit des Jahrgangs wird der in der folgenden Abbildung dargestellte Zusammenhang festgestellt. Hier wird auszugsweise die Übersicht über das angegebene erste Lieblingsfach dargestellt.

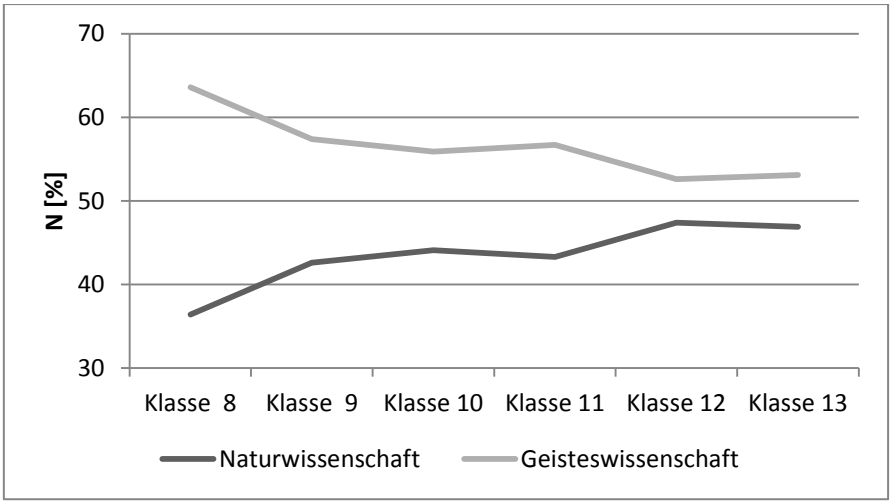


Abb. 80: Kategorie des ersten Lieblingsfachs in Abhängigkeit des Jahrgangs

Die Beliebtheit der Naturwissenschaften scheint entgegen der bisherigen Annahme für das erste Lieblingsfach tendenziell mit höher werdendem Jahrgang zu steigen. Ein Maximum findet sich bei den Schülerinnen und Schülern der Klasse 12, von denen 47,4% eine Naturwissenschaft als Lieblingsfach angaben. Die Einschätzung, dass die Naturwissenschaften in der Oberstufe unbeliebter werden, lässt sich also nicht verifizieren. Vielmehr scheinen die Geisteswissenschaften vor allem in der Klasse 8 eine hohe Beliebtheit zu genießen. 63,6% der Achtklässlerinnen und Achtklässler gaben an eine Geisteswissenschaft als Lieblingsfach zu haben. Hier wird also eine gegenläufige Tendenz beobachtet. Abgesehen von leicht abweichenden Werten für die Klasse 12 wurde eine immer mehr ansteigende Beliebtheit der Naturwissenschaften und absteigende Beliebtheit der Geisteswissenschaften mit höher werdendem Jahrgang beobachtet.

Für das zweite Lieblingsfach konnte dieser klare Trend nicht wieder beobachtet werden (vgl. Abb. 81).

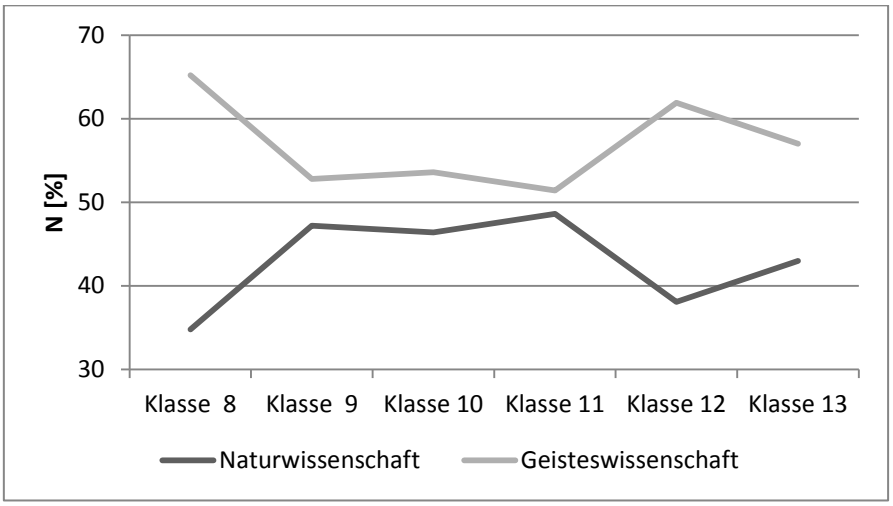


Abb. 81: Kategorie des zweiten Lieblingsfachs in Abhängigkeit des Jahrgangs

Ganz eindeutig sind in der achten Klasse die Geisteswissenschaften mit 65,2% klar beliebter als die Naturwissenschaften mit 34,8%. Diese Differenz nähert sich dann in den Klasse neun, zehn und elf an und bleibt mit 4 bis 10% etwa konstant. In der zwölften Klasse findet sich erneut eine hohe Differenz, wobei wie bei den Achtklässlerinnen und Achtklässlern die Naturwissenschaften mit 38,1% klar unbeliebter sind als die Geisteswissenschaften mit 61,9%. Die Annäherung in Klasse 13 ist dabei minimal und die Differenz zwischen Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften bleibt beim zweiten Lieblingsfach in den Klassen acht, zwölf und 13 deutlich größer als beim ersten Lieblingsfach.

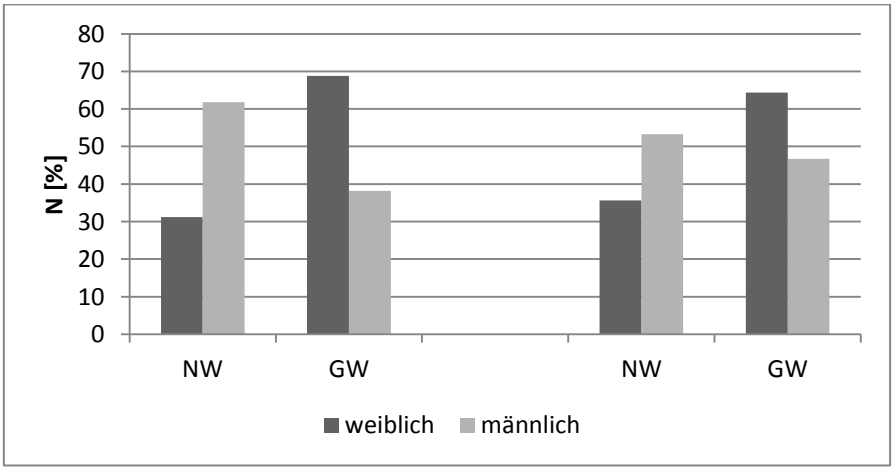


Abb. 82: Lieblingsfächer im Verhältnis zum Geschlecht. Links: erstes Lieblingsfach. Rechts: zweites Lieblingsfach.

Vergleicht man die Lieblingsfächer in Bezug auf das Geschlecht ergibt sich folgender Zusammenhang. Abbildung 82 verdeutlicht, dass sowohl beim ersten als auch beim zweiten Lieblingsfach deutlich mehr Schüler als Schülerinnen eine Naturwissenschaft angaben. Dieser Unterschied ist beim ersten Lieblingsfach noch stärker. Nur 31,2% der Schülerinnen gaben eine Naturwissenschaft als erstes Lieblingsfach an. Im Vergleich dazu ist die Menge der Schüler mit 61,8% deutlich größer.
Dieser Effekt kehrt sich bei geisteswissenschaftlichen Fächern um. 38,2% der Schüler und 68,8% der Schülerinnen gaben eine Geisteswissenschaft als erstes Lieblingsfach an. Die Differenz ist beim zweiten Lieblingsfach noch deutlich groß, aber im Vergleich zum ersten Lieblingsfach geringer. Sie liegt sowohl für die Naturwissenschaften als auch für die Geisteswissenschaften bei 17,7%.
Auf die gleiche Weise kann nun die Kombination aus erstem und zweitem Lieblingsfach betrachtet werden. 37,2% der Schüler und nur 11,9% der Schülerinnen gaben an, zwei Naturwissenschaften als Lieblingsfächer zu haben. Die Schülerinnen äußerten mit 46,3% eine deutliche Präferenz für geisteswissenschaftliche Fächer indem sie zwei Geisteswissenschaften als Lieblingsfach angaben. Das Maximum lag bei den Schülern mit 39,2% bei einer Geisteswissenschaft und einer Naturwissenschaft. Dies gaben ebenfalls 41,8% der Schülerinnen an.

In Hinsicht auf die Schulform und die Kombination der Lieblingsfächer lassen sich die in der folgenden Abbildung verdeutlichten Aussagen treffen.

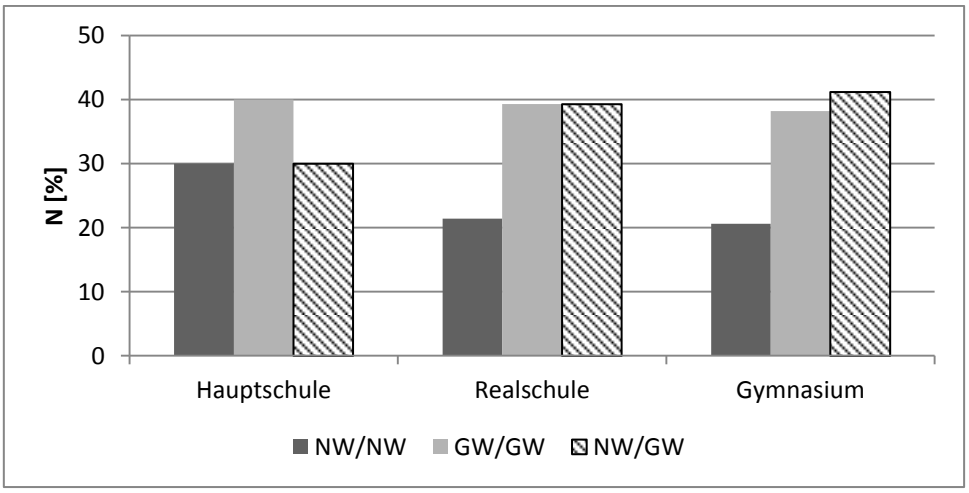


Abb. 83: Kombination des ersten und zweiten Lieblingsfachs in Abhängigkeit von der Schulform.

Während das Maximum bei den Schülerinnen und Schülern der Hauptschule bei zwei Geisteswissenschaften liegt, gaben die Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums mit 41,2% eine deutliche Präferenz für eine Geisteswissenschaft und eine Naturwissenschaft an. Zwei Naturwissenschaften waren die seltenste Kombination, die Differenz zeigt sich vor allem im Bereich der Realschule und des Gymnasiums.

In Hinsicht auf die Wahl des ersten und zweiten Lieblingsfachs in Abhängigkeit vom Jahrgang bietet Abbildung 84 eine Übersicht. Die Kurve für zwei Naturwissenschaften liegt über alle Jahrgänge deutlich unter den beiden anderen Kurven. Zwei Naturwissenschaften wurden also in allen Klassen im Vergleich seltener als Lieblingsfächer angegeben. In Hinsicht auf die oben besprochenen Ergebnisse von erstem und zweiten Lieblingsfach sieht man hier nochmals deutlich, dass sich Klasse 8 und 12 ähneln, während die Naturwissenschaften in Klasse 13 wieder beliebter sind. Die beiden Kurven für zwei Geisteswissenschaften und eine Geisteswissenshaft und eine Naturwissenschaft liegen in einem ähnlichen Bereich. Die Neuntklässlerinnen und Neuntklässler gaben am häufigsten an eine Geisteswissenschaft und eine Naturwissenschaft als Lieblingsfach zu haben.

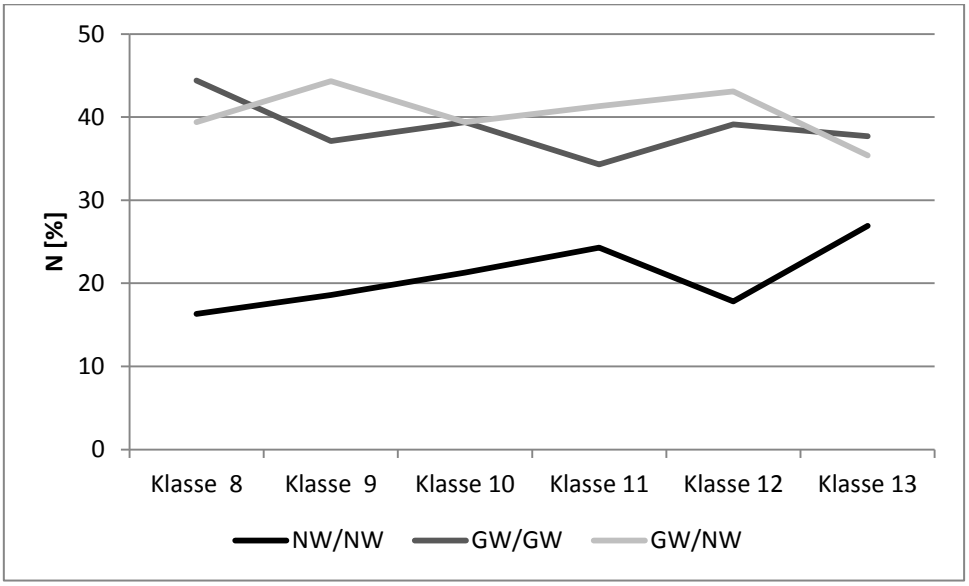


Abb. 84: Kombination aus erstem und zweitem Lieblingsfach in Abhängigkeit vom Jahrgang.

3.1.2.2 Zuordnung von Themen zu Fächern

Wie bereits besprochen wurden die Schülerinnen und Schüler gebeten einem vorgegebenen Thema zwei Fächer zuzuordnen, in denen diese vorkommen könnten. Diese Themen waren:

- Atomkraft
- Gentechnik
- Umwelt
- Industrie
- Klima
- Energie

Die Themenwahl wurde deshalb so vorgenommen, weil hier eine besondere Möglichkeit zur Interdisziplinarität vorliegt. Die Themen haben alle sowohl eine naturwissenschaftliche, als auch eine geisteswissenschaftliche Implikation. Letztere liegt bei den meisten Themen sowohl auf

ethischer als auch auf politisch-gesellschaftlicher Seite. Man kann davon ausgehen, dass alle Themen den Schülerinnen und Schüler bekannt sind, da sie öffentlichkeitswirksam diskutiert werden. Dies trifft sowohl für Schülerinnen und Schüler der Klasse 8 als auch für Schülerinnen und Schüler der Klasse 13 zu.

Die gegebenen Antworten wurden, wie auch zuvor die Lieblingsfächer, kategorisiert, um die Auswertung übersichtlicher zu gestalten. Folgende Tabelle liefert eine Übersicht über die Antwortstrukturen.

Tab. 5: Kategorisierung der genannten Fächer zu verschiedenen vorgegebenen Themen. Angaben = N[%]. Links (1) die zuerst genannten Fächer, rechts (2) die als zweites genannten Fächer.

NW	**GW**	**NW**	**GW**
Atomkraft 1		***Atomkraft 2***	
79,6%	20,4%	72,8%	27,2%
NW(1)+NW(2) = **55,5%**	GW(1)+GW(2) = **3,4%**	NW(1)+GW(2) oder NW(2) + GW(1) = **41,1%**	
Gentechnik 1		***Gentechnik 2***	
92,7%	4,6%	61,5%	38,5%
NW(1)+NW(2) = **56%**	GW(1)+GW(2) = **0,8%**	NW(1)+GW(2) oder NW(2) + GW(1) = **43,2%**	
Umwelt 1		***Umwelt 2***	
74,8%	25,2%	59,6%	40,4%
NW(1)+NW(2) = **40,5%**	GW(1)+GW(2) = **7%**	NW(1)+GW(2) oder NW(2) + GW(1) = **52,5%**	
Industrie 1		***Industrie 2***	
24%	76%	43,8%	56,2%
NW(1)+NW(2) = **11,8%**	GW(1)+GW(2) = **40%**	NW(1)+GW(2) oder NW(2) + GW(1) = **48,2%**	
Klima 1		***Klima 2***	
73%	27%	68%	32%
NW(1)+NW(2) = **44,6%**	GW(1)+GW(2) = **5,4%**	NW(1)+GW(2) oder NW(2) + GW(1) = **50%**	
Energie 1		***Energie 2***	
91,2%	8,8%	80,5%	19,5%
NW(1)+NW(2) = **71,7%**	GW(1)+GW(2) = **1,1%**	NW(1)+GW(2) oder NW(2) + GW(1) = **27,2%**	

Die Tabelle fasst die gesammelten Ergebnisse auf folgende Weise zusammen. Links sind die zuerst genannten Fächer abgebildet, rechts die Fächer, die als zweites genannt wurden. Für jeweils das erst- oder das zweitgenannte Fach gibt es die Möglichkeit entweder eine Naturwissenschaft oder eine Geisteswissenschaft anzugeben. Die Prozentzahlen verdeutlichen, wie viele der Schülerinnen und Schüler, die eine Angabe gemacht haben, für Fach 1 (links) eine Naturwissenschaft oder eine Geisteswissenschaft oder entsprechend für Fach 2 (rechts) eine Natur- oder Geisteswissenschaft angegeben haben. Die darauffolgende Zeile fasst die Kombinationsmöglichkeiten zusammen. Dabei

sind drei Kombinationsmöglichkeiten denkbar. Entweder eine Naturwissenschaft aus Fach 1 (NW(1)) und eine Naturwissenschaft aus Fach 2 (NW(2)) oder entsprechend einer Geisteswissenschaft aus Fach 1 (GW(1)) und eine Geisteswissenschaft aus Fach 2 (GW(2)) oder zuletzt die Kombination einer Naturwissenschaft aus einem der Fächer und eine Geisteswissenschaft aus dem jeweils anderen Fach.

Für das Thema der Atomkraft ergibt sich damit folgende Beobachtung. Sowohl im erstgenannten als auch im zweitgenannten Fach gaben mit 79,6% und 72,8% deutlich mehr Schülerinnen und Schüler eine Naturwissenschaft an. Betrachtet man die genannten Fächer genauer stellt man fest, dass für das erste Fach 866 Schülerinnen und Schüler Physik und 504 Schülerinnen Chemie angaben. Dieses Verhältnis kehrt sich im zweiten Fach mit 591 für Chemie und 478 für Physik leicht um. Andere Naturwissenschaften wie Biologie (29 für Fach 1, 64 für Fach 2) oder Erdkunde (32 für Fach 1, 54 für Fach 2) spielen eher eine untergeordnete Rolle. Nach den Naturwissenschaften Physik und Chemie wurde Politik und Wirtschaft am dritthäufigsten genannt, nämlich mit 286 Nennungen für Fach 1 und 313 Nennungen für Fach 2. Eventuell müssen hier die Nennungen für Gesellschaftskunde (62 für Fach 1 und 51 für Fach zwei) hinzugezählt werden, da in der Mittelstufe oft nicht Politik und Wirtschaft, sondern Gesellschaftskunde unterrichtet wird. Die Schülerinnen und Schüler benannten also klar die naturwissenschaftliche Grundlage des Themas Atomkraft, benannten aber auch deutlich die gesellschaftliche und politische Relevanz des Themas. Ethik wurde zudem für Fach 2 30 mal genannt. Dieses Ergebnis ist vor allem vor dem Hintergrund der aktuellen Atomkraftdebatte nicht verwunderlich. So kommt es auch, dass 55,5% der Schülerinnen und Schüler zwei Naturwissenschaften angaben, aber doch mit 41,1% auch eine große Gruppe der Schülerinnen und Schüler angab, dass das Thema sowohl für die Naturwissenschaften als auch für die Geisteswissenschaften eine wichtige Rolle spielt.

Im Themengebiet der Gentechnik zeigt sich eine ähnliche deutliche Tendenz. 92,7% der Schülerinnen und Schüler gaben für das erste Fach eine Naturwissenschaft an, 61,5% ebenfalls für das zweite Fach. Dabei wurde Biologie für das Fach 1 von 1558 Schülerinnen und Schülern genannt. Aus dem Bereich der Naturwissenschaften gaben 123 Chemie und nur 34 der Schülerinnen und Schüler Physik an. So ergibt es sich, dass für das Fach 2 weitere 166 Schülerinnen und Schüler Biologie angaben. Hier wurde Chemie mit 502 mal deutlich häufiger angegeben. Der Bereich der Geisteswissenschaften ist für Fach 1 fast zu vernachlässigen. Im Gegensatz zum Thema Atomkraft wiesen die Schülerinnen und Schüler dem Thema Gentechnik eine weniger wichtige gesellschaftliche Relevanz zu. Politik und Wirtschaft wurde nur 33 mal genannt, Gesellschaftslehre nur 9 mal. In diesem Bereich liegen auch die Nennungen von Religion (18) und Ethik (17). Für das zweite Fach wurde neben den besprochenen Naturwissenschaften Politik und Wirtschaft 150 mal genannt. Erstaunlich ist die häufige Nennung von Religion (135) und Ethik (122). Im Vergleich zum Thema der Atomkraft wiesen die Schülerinnen und Schüler dem Thema Gentechnik eine deutlich ethische Relevanz zu, die gesellschaftliche Relevanz wurde dabei, in Zahlen ausgedrückt, weniger

stark bewertet. Die Kombinationsmöglichkeit von einer Geisteswissenschaft und einer Naturwissenschaft mit 43,2% resultiert hier also hauptsächlich aus der Kombination von Biologie mit Ethik/Religion oder Politik und Wirtschaft. Hier waren sich die Schülerinnen und Schüler einig, dass das Thema Gentechnik zunächst eine biologische Basis hat und dennoch ethische und gesellschaftliche Implikationen. Fast die Hälfte der Schülerinnen und Schüler gab hier eine Interdisziplinarität an.

Das Thema Umwelt wurde mehrheitlich in naturwissenschaftliche Fächer einsortiert. 74,8% der Schülerinnen und Schüler sortierten Umwelt im ersten Fach zu einer Naturwissenschaft, im zweiten Fach waren es noch 59,6%. Hier sieht man aber schon deutlich, dass Geisteswissenschaften mehr Gewicht gewinnen als dies noch für die Themen Atomkraft und Gentechnik der Fall war. Im ersten Fach wurde Biologie mit 1066 deutlich am häufigsten genannt. Darauf folgt aber schon mit Politik und Wirtschaft und Gesellschaftslehre (292 und 99) eine Geisteswissenschaft. 211 Schülerinnen und Schüler teilten das Thema Umwelt in das Fach Erdkunde ein. Noch gemischter sieht es für das zweite Fach aus. Biologie ist hier mit 367 immer noch knapp das erstgenannte Fach. Summiert man allerdings Politik und Wirtschaft und Gesellschaftslehre so kommt man auf einen Betrag von 467 Schülerinnen und Schüler, welche dem Thema einen deutlich gesellschaftsrelevanten Bezug zuordneten. Ebenfalls häufig genannt wurden hier auch Erdkunde (279), Chemie (211) und Physik (82). Nur 24 bzw. 19 Schülerinnen und Schüler gaben für das zweite Fach Religion oder Ethik an und wiesen dem Thema so eine ethische Komponente zu. Die vielfältig genannten Fächer zeigen, dass es sich beim Thema Umwelt um ein komplexes Thema handelt, dass derart facettenreich ist, dass viele Fächer tangiert. Dass auch die Schülerinnen und Schüler den interdisziplinären Charakter erkannten, zeigt sich in der Kombination durch einen Wert von 52,5% für eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft. Über die Hälfte der Befragten gaben hier also an, dass das Thema Umwelt sowohl geisteswissenschaftliche als auch naturwissenschaftliche Bezüge hat.

Das Verhältnis ist deutlich anders beim Thema Industrie. Hier liegt die Gewichtung eher die den Geisteswissenschaften. Dabei gaben 76% der Schülerinnen und Schüler für das erste Fach und 56,2% für das zweite Fach eine Geisteswissenschaft an. Wie erwartet wurde hauptsächlich Politik und Wirtschaft genannt (im ersten Fach mit 897 und für das zweite Fach mit 288). Zählt man Gesellschaftslehre dazu verdeutlicht sich der Effekt noch stärker (207 bzw. 52). Die Naturwissenschaften sind durch Chemie, Physik und Erdkunde vertreten. Biologie spielt hier keine große Rolle. Mit 141 Stimmen wurde Chemie für das erste Fach als häufigste Naturwissenschaft genannt genauso wie für das zweite Fach mit 174. Interessanter Weise wird ebenfalls Geschichte häufig genannt. 186 Schülerinnen und Schüler gaben als erstes Fach Geschichte an. Für das zweite Fach waren es mit 305 noch mehr. Die Schülerinnen und Schüler erkennen hier den gesellschaftsrelevanten und geschichtlichen Bezug des Themas. Die Verknüpfung zu den Naturwissenschaften zweigt sich in den Prozentzahlen der Kombinationsmöglichkeiten. Mit 48,2%

gaben fast die Hälfte der Schülerinnen und Schüler eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft an. Die Kombination aus zwei Naturwissenschaften ist mit 11,8% kaum vertreten.

Die Antwortstruktur des Themas Klima ähnelt auf dem ersten Blick am ehesten der aus dem Themengebiet Atomkraft. 73% der Schülerinnen gaben für das erste Fach 68% für das zweite Fach eine Naturwissenschaft an. Hier wurde allerdings erneut Erdkunde häufig angegeben. Für das erste Fach wurde Erdkunde am häufigsten genannt (692), für das zweite Fach am zweithäufigsten. Biologie wurde im erstgenannten und zweitgeannten Fach etwa gleich oft angegeben (436 und 429), ebenso wie Physik (120 und 177). Chemie wurde im zweitgenannten Fach mit 154 gegenüber dem erstgenannten Fach mit 60 deutlich häufiger ausgewählt. Schon in der Betrachtung der Naturwissenschaften sieht man den klaren intradisziplinären Bezug des Themas Klima. Dieses Thema hat ebenso wie die zuvor genannten derart viele Facetten, dass jedes der genannten Fächer einen großen Teil beitragen kann. Im geisteswissenschaftlichen Bereich nannten die Schülerinnen und Schüler wie erwartet am häufigsten Politik und Wirtschaft sowie Gesellschaftslehre. Politik und Wirtschaft wurde für Fach eins und zwei in etwa gleich häufig genannt (282 und 290). Die Schülerinnen und Schüler machten so den gesellschaftlichen Hintergrund des Themas deutlich. Die Fächer Ethik oder Religion spielen hingegen kaum eine Rolle. Genau die Hälfte der Schülerinnen und Schüler wählten eine Geisteswissenschaft und eine Naturwissenschaft aus. Zwei Geisteswissenschaften wurden hingegen nur selten gewählt.

Zuletzt wurde das Thema Energie betrachtet. Die Schülerinnen und Schüler waren sich mit 91,2% (1322) einig, dass Energie zuallererst ein Thema für den Physikunterricht ist. Physik wurde als zweites immer noch 312 mal genannt. Als zweites Fach wurde Chemie 674 mal und damit am häufigsten angegeben, als erstes Fach liegt Chemie auf zweiter Position mit 221 Nennungen. Biologie wurde für das zweitgenannte Fach noch 98 mal gewählt, spielt aber mit dem erstgenannten Fach keine große Rolle. So ergibt sich, dass 80,5% der Schülerinnen und Schüler auch für das zweite Fach eine Naturwissenschaft wählen. Damit ist das Thema Energie das, welches am deutlichsten in den Bereich der Naturwissenschaften eingeordnet wurde. Politik und Wirtschaft wurde als zweites noch 199 mal benannt, Gesellschaftslehre hingegen wurde mit 29 und 33 mal kaum gewählt. Der gesellschaftliche Aspekt des Themas tritt hier in den Hintergrund. Nur 27,2% der Schülerinnen und Schüler wählten eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft. 71,7% hingegen wählten zwei Naturwissenschaften.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorgegebenen Themen deutlich häufiger in naturwissenschaftliche Fächer eingeordnet wurden, vor allem das Thema Energie. Eine Ausnahme bildet das Thema Industrie, welches vor allem gesellschaftswissenschaftlichen Fächern zugeordnet wurde.

Betrachtet man die Antwortstrukturen im Verhältnis zum Jahrgang, lässt sich der in folgender Abbildung veranschaulichte Zusammenhang für vier der sechs Themen festhalten.

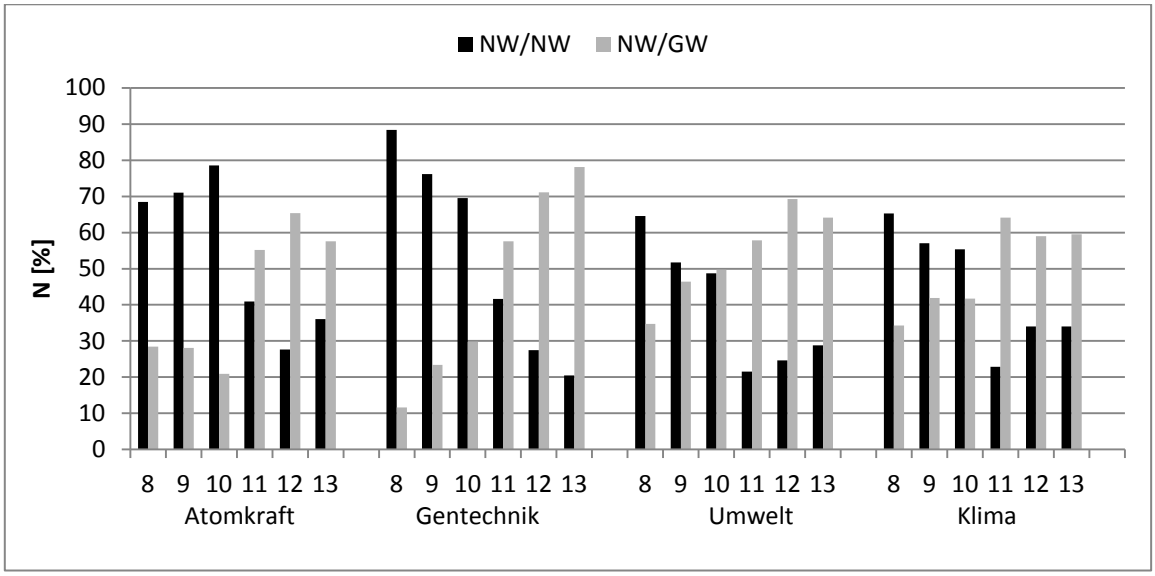


Abb. 85: Die Themen Atomkraft, Gentechnik, Umwelt und Klima in Hinsicht auf Jahrgangsstufen in Abhängigkeit von der Kombination der beiden angegeben Fächer.

Wie graphisch gut zu sehen ist, kehren sich die Maxima beim Wechsel von der Mittelstufe auf die Oberstufe um. Die Abbildung zeigt hier die Kombinationsmöglichkeit zweier Naturwissenschaften oder einer Naturwissenschaft und einer Geisteswissenschaft. Die Kombination aus zwei Geisteswissenschaften spielt, wie bereits gezeigt wurde (vgl. Tab. 5), keine große Rolle. Am deutlichsten tritt der Effekt der verschiedenen Antwortstrukturen zwischen Oberstufen- und Mittelstufenschülerinnen und -schülern beim Thema Gentechnik zu tage. Die Schülerinnen und Schüler der achten, neunten und zehnte Klasse gaben mit 88,4%, 76,2% und 69,5% deutlich häufiger zwei Naturwissenschaften als eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft an. Die Schülerinnen und Schüler der Klassen elf, zwölf und dreizehn wählten hingegen mit 57,6%, 71,1% und 78,1% am häufigsten eine Geisteswissenschaft und eine Naturwissenschaft. Dasselbe Muster findet sich für die Themen Atomkraft und Klima. Für das Thema Umwelt ist die Tendenz dieselbe. Die Schülerinnen und Schüler der zehnten Klasse wählten allerdings hier mit 49,7% knapp häufiger eine Natur- und eine Geisteswissenschaft als zwei Naturwissenschaften (48,7%). Das hier gezeigte Muster lässt vermuten, dass sich Schülerinnen und Schüler mit steigendem Alter der gesellschaftlichen Relevanz der Themen mehr bewusst sind. Sie stufen die Themen nicht mehr nur nach ihrer naturwissenschaftlichen Basis ein, sondern geben durch die Nennung der Fächer Politik und Wirtschaft, Gesellschaftslehre, Ethik und Religion zum Ausdruck, dass die genannten Themen durchaus auch eine weitere Dimension aufweisen.

Für die Themen Energie und Industrie konnte dieser Zusammenhang nicht gefunden werden. Das Thema Energie wird über alle Jahrgangsstufen hinweg hauptsächlich als naturwissenschaftliches

Thema eingestuft. Es wurden also hauptsächlich zwei Naturwissenschaften in Kombination angegeben. Allerdings ist es hier auch der Fall, dass die Mittelstufenschülerinnen und -schüler deutlich häufiger zwei Naturwissenschaften wählten (88,1%; 83% und 84,3%) als die Schülerinnen und Schüler der Oberstufe (56,4%; 56,9%; 52,8%). Knapp die Hälfte der Oberstufenschülerinnen und -schülern wählte eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft. Die Maxima liegen jedoch auch im Bereich von zwei Naturwissenschaften.

Völlig anders stellt sich der Zusammenhang im Themengebiet Industrie da. Hier waren es vor allem die Mittelstufenschülerinnen und -schüler, die das Thema in eine Naturwissenschaft und ein Geisteswissenschaft einordneten (63,2%; 54,3% und 51,7%). Die Schülerinnen und Schüler der Klassen 11, 12 und 13 gaben am häufigsten zwei Geisteswissenschaften an (53,4%; 57,3% und 53%). Das Thema Industrie scheint von seiner Beschaffenheit her anders zu sein als die übrigen angegebenen Themen und von seiner Struktur nicht in die Reihe der genannten Themen zu passen. Hier überwiegen deutlich die gesellschaftlichen und geschichtlichen Bezüge. Bei den anderen Fächern handelt es deutlicher um naturwissenschaftliche Prozesse mit gesellschaftlicher und ethischer Implikation.

Es bleibt die Frage zu klären, ob die Schülerinnen und Schüler dadurch in ihrer Antwortstruktur beeinflusst wurden, welche Themen ihnen in welchen Fächern bereits begegnet sind.

3.1.2.3 Erstellung der Einstellungsvariablen

Auf einer sechsstufigen, endverbalisierten Skala wurden Einstellungen der Schülerinnen und Schüler abgefragt. Dem Fragebogen lag das theoretische Konstrukt zugrunde, dass mit bestimmten Variablen eine Kategorie abgefragt wird. Durch die konfirmatorische Faktorenanalyse wurde dieses Konstrukt bestätigt. Die folgende Tabelle liefert einen Überblick über die einzelnen Items und die Zuordnung zu Kategorien.

Im Bereich der Grundmotivation wurden drei Items verwendet. Es wurde abgefragt, ob die Schülerinnen und Schüler gerne zur Schule gehen, ob sie sich bemühen dem Unterricht zu folgen und ob sie Spaß an den meisten Fächern habe. Der Begriff „Motivation“ wurde deshalb gewählt, weil davon ausgegangen wird, dass die drei abgefragten Sachverhalten im direkten Zusammenhang mit der schulischen Motivation der Schülerinnen und Schüler stehen. Hier ist aber keine vollständige Definition von „Grundmotivation“ im allgemeinen Sinne gemeint. Die Faktoren, welche sich zur Grundmotivation der Schülerinnen und Schüler zusammensetzten sind bei weitem vielfältiger. Die Items werden daher dazu genutzt einen groben Einblick in die Motivation der Schülerinnen und Schüler zu gewinnen.

Tab. 6: Items des Fragebogens für Schülerinnen und Schüler und Zuordnung zu Kategorien

Grund-motivation	*Aktivität im Unterricht*	*Anwendung von Inhalten*	*Erkennen von füU*	*Kritik an füU*	*Vorteile*
Gerne in der	Zusammen-	Allgemeinwissen	Gemeinsam-	Stundenplan	Englisch vs.

Schule	arbeit mit MitschülerInnen	aus allen Fächern	keite von Fächern		Mathe
Folgen im Unterricht	Gruppenarbeit	Problem-lösungen	Wiedererkennen von Inhalten	Abweichungen vom Stundenplan	Begabung
Spaß an Fächern	Experimente	Berufsrelevanz	Inhalte aus anderem Fach		Männer und Frauen
			Wiederholung von Themen		

In der zweiten Kategorie „Aktivität im Unterricht“ wurde abgefragt inwieweit die Schülerinnen und Schüler aktiv am Unterrichtsgeschehen teilnehmen. Es wurde gefragt, ob es den Befragten Spaß macht in Gruppen zusammen zu arbeiten, ob sie frontalen oder Gruppenunterricht bevorzugen und ob sie im Unterricht gerne experimentieren. Diese Items spiegeln auch einen Teil der Motivation der Schülerinnen und Schüler wieder. Hier geht es aber ganz konkret um das Geschehen im Unterricht und nicht um Einstellungen der gesamten Schule gegenüber. Wie theoretisch vermutet, finden sich auch durch die Faktorenanalyse zwei getrennte Gruppen.

Die Kategorie „Anwendung von Inhalten“ erfasst den Wunsch der Schülerinnen und Schüler anwendbares Wissen zu erlernen. Es wurde abgefragt, ob die Schülerinnen und Schüler der Ansicht sind, dass es für das spätere Berufsleben relevant ist ein gutes Allgemeinwissen aus allen Fächern zu haben, ob sie denken, dass man Wissen aus verschiedenen Fächern braucht, um Probleme zu lösen und ob sie sich wünschen in der Schule Dinge zu lernen, die sie später verwenden können. Hier wird davon ausgegangen, dass Interdisziplinarität und fächerübergreifender Unterricht vor allem deswegen Sinn macht, weil überfachliches Wissen und verknüpfendes Wissen vermittelt sowie Fähigkeiten gefördert werden, welche nicht nur durch ein Fach trainiert werden können.

In der Kategorie „Erkennen von füU“ soll konkret erfasst werden, ob die Schülerinnen und Schüler fächerübergreifende Ansätze erkennen. Für Schülerinnen und Schüler sind solche anhand der Themen wiederzuerkennen. So wurde gefragt, ob die Schülerinnen und Schüler denken, dass viele Fächer etwas mit anderen Fächern zu tun haben, ob die Lehrerinnen und Lehrer oft darauf hinweisen, dass sie einen Sachverhalt aus einem anderen Fach kennen müssten und ob im Unterricht manchmal Inhalte aus einem anderen Fach vorkommen. Durch die Faktorenanalyse wurde ein weiteres Item in diese Kategorie gerechnet, welches zuvor der folgenden Kategorie (Kritik füU) zugedacht war. Hier wurden die Schülerinnen und Schüler gefragt, ob sich Themen in verschiedenen Fächern wiederholen. Inhaltlich macht diese Zuordnung ebenso Sinn und daher wird sie bei der weiteren Berechnung übernommen. Das Item „Wiederholung von Themen“ wird damit der Kategorie „Erkennung von füU“ zugeordnet.

Damit bleiben für die Kategorie „Kritik füU“ zwei Items, in denen abgefragt wurde, ob den Schülerinnen und Schülern ein geregelter Stundenplan hilft und ob sie es negativ finden, wenn die Lehrerinnen und Lehrer vom Stundenplan abweichen. Es wird davon ausgegangen, dass gerade

diese Orientierung am Stundenplan durchaus für das kanonisierte Schulsystem spricht und die Arbeitsteilung wie sie auch in der Wissenschaft zu finden ist widerspiegelt.
In der letzten Kategorie wurden Vorurteile bezüglich des kategorisierten Fächerkanons abgefragt. Die Schülerinnen und Schüler beantworteten die Frage, ob sie der Ansicht sind, dass gute Englisch-SchülerInnen meistens dafür schlecht in Mathematik sind. Außerdem wurde abgefragt, ob die Schülerinnen und Schüler glauben, dass manche Menschen bestimmte Begabungen in Hinsicht auf die Fächer haben und ob männliche Schüler besser in Naturwissenschaften seien als weibliche.

Im Folgenden werden die Mittelwerte der Antworten in den verschiedenen Kategorien und für einzelne Items in Hinsicht auf verschiedene Gruppen diskutiert. Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Kategorien normalverteilte Daten aufwiesen. Die Berechnung der Mittelwertunterschiede in den Kategorien „Grundmotivation", „Aktivität im Unterricht", „Erkennen von füU" und „Vorurteile" wurden mit Hilfe von T-Test oder einfraktioneller ANOVA bestimmt. Als Alphafehlerkorrektur wurde im Falle von Varianzhomogenität Games-Howell gewählt. Im Falle nicht homogener Varianzen wurde die Alphafehlerkorrektur nach Sidak vorgenommen. Die Kategorien „Anwendung von Inhalten" und „Kritik an füU" weisen keine normalverteilten Daten auf. Die Mittelwertunterschiede wurden hier mit Hilfe des Mann-Whitney-Test durchgeführt.
Die Mittelwerte sind im Verhältnis zur sechsstufigen Skala zu sehen, wobei 1 volle Zustimmung und 6 volle Ablehnung repräsentiert. Im Folgenden bedeutet das also, dass je niedriger der Mittelwert ist, dass desto höher die Zustimmung zur gestellten Frage war.

3.1.2.4 Einstellungsvariablen in Hinsicht auf die Gruppen der Schülerinnen und Schüler

Im Bereich der Grundmotivation weisen die Antworten der Schüler im Vergleich zu den Antworten der Schülerinnen einen deutlichen Unterschied auf. Der Mittelwert über die gesamte Stichprobe liegt bei 2,78, der der Schülerinnen bei 2,73 also etwas unter dem Mittelwert, der der Schüler bei 2,85 also etwas darüber. Die Mittelwerte unterscheiden sich mit einer Signifikanz von .011. Die Schülerinnen drückten hier also eine höhere Grundmotivation aus als die Schüler. Diese höhere Motivation ist nicht nur tendenziell zu bewerten, sondern signifikant unterschiedlich.
Ein umgekehrtes Muster lässt sich im Bereich der Aktivität im Unterricht beobachten. Der Mittelwert über alle Schülerinnen und Schüler von 2,65 wird hier von den Schülern mit 2,60 unterboten von den Schülerinnen mit 2,70 überboten. Der Mittelwertunterschied ist mit .037 signifikant. Die männlichen Schüler brachten also zum Ausdruck sich im Unterricht mehr aktiv zu beteiligen. Das meint nicht, dass sich die Schüler zum Beispiel häufiger melden als die Schülerinnen. Sie gaben allerdings mit 1,96 an, dass es ihnen Spaß macht mit anderen Schülerinnen und Schülern zusammen zu arbeiten. Der Mittelwert der Schülerinnen in diesem Item beläuft sich auf 2,10. Für die Frage danach, ob sie weniger verstehen, wenn der Lehrer frontal unterrichtet als in einer Gruppe gaben sowohl Schülerinnen als auch Schüler mit einem Mittelwert von 3,83 und 3,71 eine ähnliche Einstellung wieder. Der Mittelwert ist deutlich nach rechts verschoben. Zwar wird noch

Zustimmung ausgedrückt, jedoch nicht mehr so deutlich wie das für die anderen Items der Fall ist. Die Antwortstruktur ist sehr breit. Das heißt, es stimmten 331 Schülerinnen und Schüler gar nicht zu wohingegen 169 voll zustimmten. 989 gaben durch das Ankreuzen der Skalen 4, 5 oder 6 eher eine Ablehnung zum Ausdruck. Diese Ablehnung zeigt sich in Hinblick auf die Schulform als unterschiedlich (s.unten). Ein deutlicher Unterschied zwischen Schülerinnen und Schülern in der Kategorie „Aktivität im Unterricht" lässt sich für das Experimentieren beobachten. Mit einem Mittelwert von 2,32 liegen die Schülerinnen deutlich über dem Durchschnitt von 2,17. Die Schüler hingegen brachten durch einen Mittelwert von 1,98 zum Ausdruck sehr gerne im Unterricht zu experimentieren.

In den Kategorien „Anwendung von Inhalten" und „Erkennen von füU" sind keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern zu erkennen. Beide Gruppen liegen sehr dicht beieinander und ebenso dicht am Mittelwert der gesamten Stichprobe.

Die Mittelwertunterschiede der Kategorien „Kritik an füU" und „Vorteile" sind jedoch zwischen Schülerinnen und Schülern hoch signifikant. Der Mittelwert für die Kategorie „Kritik an füU" liegt bei 2,26. Der Mittelwert der Schülerinnen liegt mit 2,12 deutlich darunter, der der Schüler mit 2,45 deutlich darüber. Die Schülerinnen äußerten hier also deutlicher Kritik als die Schüler. Die Signifikanz der Mittelwertunterschiede beträgt .000. Vor allem die Mittelwerte für das Item sind beachtlich, in dem abgefragt wird, ob es die Schülerinnen und Schüler schlecht finden, wenn sich der Lehrer nicht an den Stundenplan hält. Hier liegt der Mittelwert für die Schüler noch höher (2,73).

Für die Kategorie „Vorteile" findet sich ebenfalls ein Mittelwertunterschied zwischen Schülerinnen und Schülern von .000. Der Mittelwert der Schülerinnen liegt mit 3,50 deutlich über dem der Schüler (3,02). Die Schüler stimmten also allgemein gesagt den Items mehr zu als die Schülerinnen, die durch die Zustimmung der Items auch die Vorurteile im Vergleich eher ablehnten. Allerdings muss man sagen, dass die Zustimmung mit Mittelwerten zwischen drei und vier eher in einer geringen Maße zum Ausdruck gebracht wurde, wenn man bedenkt, dass die Skalenwerte 4, 5 und 6 Ablehnung ausdrücken. Während die beiden ersten Fragen der Kategorie noch relativ vergleichbar beantwortet wurden, unterscheidet sich die Antwortstruktur der Schülerinnen und Schüler vor allem im letzten Item. Hier unterscheiden sich auch die Mittelwerte stark, wobei der der Schülerinnen mit 3,09 deutlich niedriger ist als der der Schüler mit 4,37. Die Schülerinnen stimmten also eher zu, dass Schülerinnen schlechter in Naturwissenschaften sind als Schüler. Die männlichen Schüler hingegen lehnten diese Aussage ab. Dieses Ergebnis ist insofern erstaunlich, als dass es sich bei den Schülerinnen um eine negative Selbsteinschätzung handelt. Die Schüler hingegen scheinen den Vorteil zumindest weniger zu tragen als die Schülerinnen selbst. Ein Mittelwert von 4,37 drückt zwar Ablehnung aus, jedoch in einem geringen Maße. Einig waren sich die Schülerinnen und Schüler weitgehend in der Annahme, dass manche Menschen für bestimmte Fächer begabter sind als andere. Sie stimmten diesem Item mit Mittelwerten von 1,57 (weiblich) und 1,46 (männlich) zu.

Auch die Mittelwerte im Item, dass abfragt, ob wer schlecht in Mathe eher gut in Englisch ist, ähneln sich. Hier drückten beide Gruppen Ablehnung aus.

3.1.2.5 Einstellungsvariablen in Bezug auf unterschiedliche Schulformen

Die Mittelwerte der gegebenen Antworten unterscheiden sich nicht nur zwischen Schülerinnen und Schülern, sondern teilweise signifikant teilweise in der Tendenz auch zwischen Befragten unterschiedlicher Schulformen. Die folgende Abbildung bietet einen Überblick über die Mittelwerte in Bezug auf die sechs Kategorien.

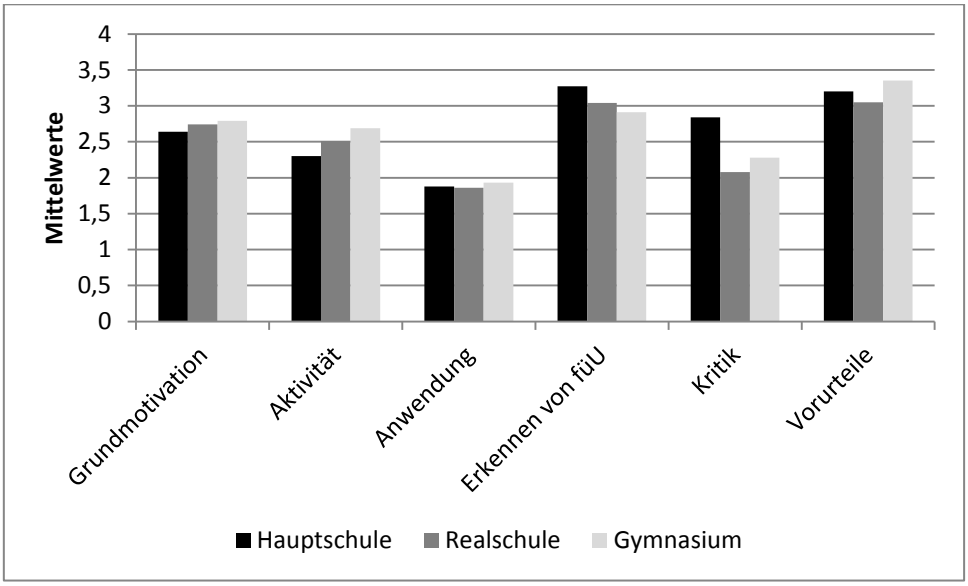


Abb. 86: Mittelwerte in den sechs Einstellungskategorien in Bezug auf die Schulform. Mittelwerte auf einer Skala von 1 bis 6. 1 = volle Zustimmung; 6 = volle Ablehnung.

Ein Muster zeigen vor allem die Kategorien „Grundmotivation“, „Aktivität im Unterricht“ und „Erkennen von füU“. Die Mittelwerte in den ersten beiden Kategorien steigen stetig an. Die Hauptschülerinnen und Hautschüler gaben mit einem Mittelwert von 2,64 an, die höchste Grundmotivation der genannten Gruppen zu haben. Hier soll nochmals auf die geringere Anzahl von Hauptschülerinnen und Hauptschülern hingewiesen werden, die im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen nicht als repräsentativ bezeichnet werden kann. Hier wurde anscheinend eine sehr motivierte Gruppe Hauptschülerinnen und Hauptschüler befragt. Auch in der Kategorie „Aktivität im Unterricht“, gaben die Hautschülerinnen und -schüler die größte Zustimmung aller Gruppen an. Durch die kleine Gruppengröße lässt sich aber keine allgemeingültige Aussage treffen. Das Problem könnte durch eine größere Stichprobe gezielt an Hauptschulen gelöst werden.

Vergleicht man die Gruppen der Realschülerinnen und -schüler sowie der Gymnasiasten kann man sehen, dass in allen Kategorien außer in der Kategorie „Erkennen von füU“ die Gymnasiasten höhere Mittelwerte erreichen. Das heißt, dass sie den gefragten Items weniger zustimmten als die Realschülerinnen und Realschüler. Für die Kategorie „Aktivität im Unterricht“ bedeutet dies einen

signifikanten Mittelwertunterschied mit .016. Vor allem die ersten beiden Items dieser Kategorie unterschieden sich stark voneinander. Die realschülerinnen und Realschüler drückten mit einem sehr niedrigen Mittelwert von 1,94 aus, dass sie gerne mit anderen Mitschülerinnen und Mitschülern zusammen arbeiten. Der Mittelwert der Gymnasiasten lag hier bei 2,04. Bei der Frage danach, ob sie mehr in einer Gruppe als im Frontalunterricht verstehen, antworteten die Gymnasiasten mit 3,83 noch gering zustimmend. Die Antwortstruktur über alle Befragten ist hier jedoch sehr verteilt. Nur 9,6% stimmten voll zu. Auf die anderen Skalenintervalle teilte sich die Gruppe der Befragten fast gleichmäßig mit zwischen 264 und 341 Nennungen auf.

Die Kategorie „Erkennen von füU“ zeigt ein umgekehrtes Antwortverhalten. Die Gymnasialschülerinnen gaben mit einem Mittelwert von 2,91 an fächerübergreifende Ansätze eher zu erkennen als die Realschülerinnen und Realschüler mit einem Mittelwert von 3,04. Hier ist es interessant die Antwortstruktur nicht nur der gesamten Kategorie, sondern auch der einzelnen Items zu betrachten (vgl. Abb. 87).

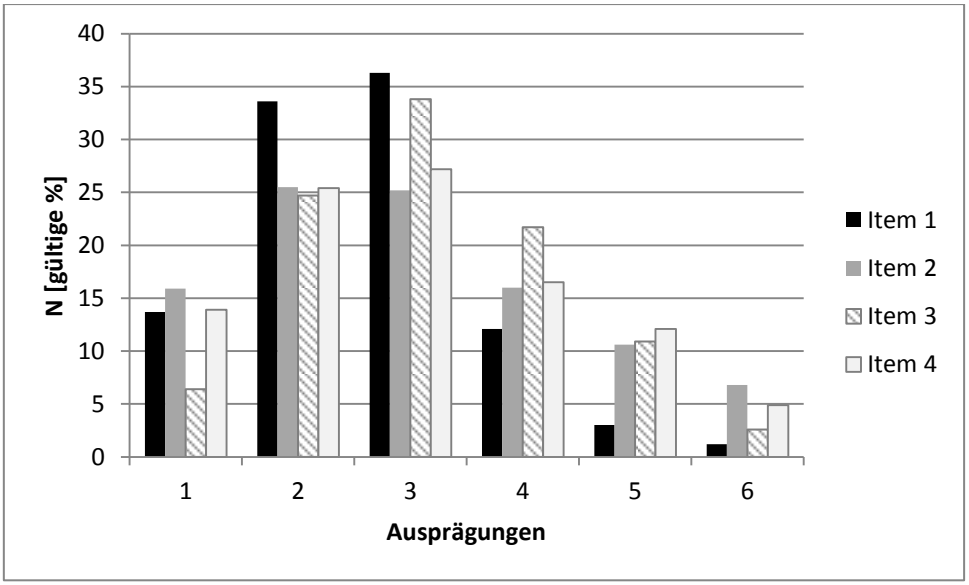


Abb. 87: Die vier Items der Kategorie „Erkennen von füU“. Ausprägungen auf der sechsstufigen Skala (1 = volle Zustimmung; 6 = volle Ablehnung). Item 1 (Fächer haben etwas miteinander zu tun); Item 2 (Wiedererkennen aus anderem Fach); Item 3 (Anknüpfung zu anderem Fach im Unterricht); Item 4 (Wiederholung von Themen in verschiedenen Fächern)

Die Abbildung zeigt die vier einzelnen Items der Kategorie „Erkennen von füU“. Über alle Items hinweg wurde nur selten völlig Ablehnung ausgedrückt. Die Schülerinnen und Schüler haben erkannt, dass Fächer miteinander zusammen hängen. Item 1 fragt hier allgemein ab, ob die Schülerinnen und Schüler denken, dass Fächer grundsätzlich etwas miteinander zu tun haben. Die drei übrigen Items fragen konkret nach Erfahrungen im Unterricht. Die Maxima dieser drei Items liegen auf der Skala bei 3 mit 455, 611 und 492 Nennungen. Die Ausprägung 3 gibt zwar noch Zustimmung an, allerdings teilweise Zustimmung. Auch die Mittelwerte der drei Items liegen knapp

über drei (3,00; 3,14 und 3,02). Daraus kann man schlussfolgern, dass Schülerinnen und Schüler fächerübergreifende Ansätze entweder nicht als solche erkennen oder dass fächerübergreifende Ansätze in ihrem Unterricht zwar schon vorkommen allerdings nicht in deutlicher Mehrheit. Hier wäre ein Vergleich mit der Erhebung der Lehrerinnen und Lehrer sinnvoll (siehe unten). In der Tendenz jedoch lässt sich festhalten, dass die Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums in den Items 1, 2 und 4 geringere Mittelwerte erzielten, also entweder füU (fächerübergreifender Unterricht) häufiger erkennen oder füU einfach öfter erleben.

Während in den Kategorien Anwendung von Inhalten und Kritik an füU keine Besonderheiten in Hinsicht auf die unterschiedlichen Schulformen zu erkennen sind, kann in der Kategorie „Vorurteile“ ein hoch signifikanter (.000) Mittelwertunterschied zwischen den Realschülerinnen und -schüler und den Gymnasiasten festgestellt werden. Dabei liegt der Mittelwert der Realschülerinnen und -schüler mit 3,05 deutlich unter dem der Gymnasiasten mit 3,35. Die Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums lehnten die Vorurteile im Vergleich also eher ab. Der Effekt ist vor allem in zwei der drei Items deutlich. Die Realschülerinnen und Gymnasialschülerinnen und -schüler sind sich noch weitgehend einig, dass manche Menschen für bestimmte Fächer begabter sind als andere (1,52 und 1,51). Die Mittelwerte liegen sehr niedrig und drücken so starke Zustimmung aus. Unterschiedlicher sind die Mittelwerte in der Frage danach, ob gute Englischschülerinnen und -schüler meistens schlecht in Mathematik sind. Hier lehnten die Realschülerinnen und Realschüler mit einem Mittelwert von 4,15 weniger ab als die Gymnasiasten mit einem Mittelwert von 4,64. Beide Gruppen erreichen hier allerdings einen Mittelwert über vier, was grundsätzlich eine leichte Ablehnung bedeutet. 745 der Befragten wählten hier die Ausprägung sechs und drückten völlige Ablehnung aus. Nur 131 stimmten voll zu. Bei der Frage danach, ob männliche Schüler in den Naturwissenschaften besser sind als Schülerinnen unterschieden sich die Mittelwerte ebenfalls stark. Die Realschülerinnen und Realschüler lagen hier wieder weit unter den Gymnasialschülerinnen und Gymnasialschülern. Die Mittelwerte liegen bei 3,46 und 3,90. Die Realschülerinnen und Realschüler stimmten diesem Vorurteil also eher zu als die Gymnasiasten. Beide Mittelwerte liegen aber nicht in einem Bereich völliger Zustimmung. Betrachtete man die Anzahl der Nennung pro Ausprägung kann man eine gute Verteilung über alle Ausprägungen beobachten. Ein Maximum gibt es jedoch bei völliger Ablehnung (432 Nennungen). Insgesamt scheinen die Realschülerinnen und Realschüler den Items im Bereich der Vorurteile weniger kritisch entgegen zu stehen und diese nicht so strikt abzulehnen wie die Gymnasialschülerinnen und Gymnasialschüler.

3.1.2.6 Einstellungsvariablen in Hinsicht auf unterschiedliche Jahrgänge

Wie zuvor für das Geschlecht und die Schulform kann man nun auch die Unterschiede in den Antworten zwischen den Gruppen verschiedener Jahrgänge betrachten. Dabei lassen sich in den Kategorien „Grundmotivation“, „Aktivität im Unterricht“, „Erkennen von füU“ und „Vorurteile“

signifikante und hoch signifikante Mittelwertunterschiede feststellen. Die folgende Abbildung fasst alle Werte zusammen. Für die Kategorie der Grundmotivation lassen sich verschiedene Antwortverhalten beobachten. Dabei ist vor allem die Antwortstruktur der Sechstklässler und Achtklässler signifikant unterschiedlich von der der anderen Jahrgänge (mit Ausnahme von Jahrgang 9). Der Mittelwert über alle drei Items der Kategorie der Grundmotivation liegt bei den Schülerinnen und Schülern der achten klasse deutlich höher als bei allen anderen Jahrgängen.

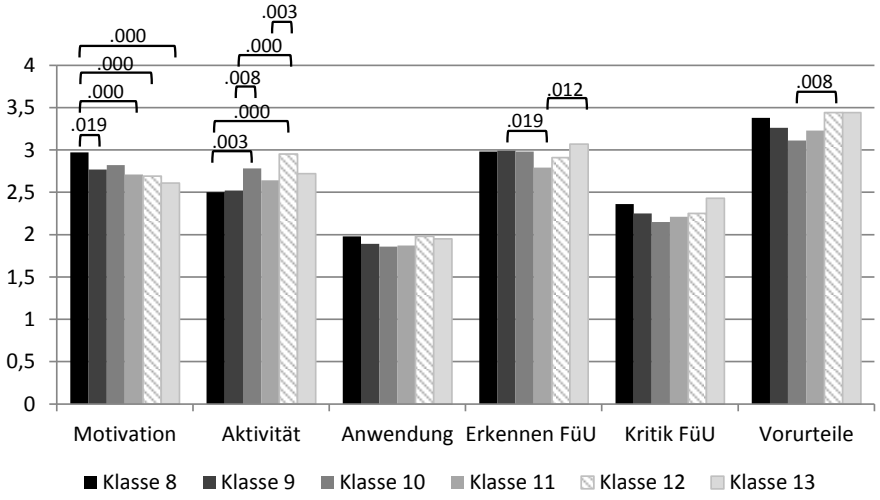


Abb. 88: Mittelwerte auf der Skala 1 bis 6 (1=volle Zustimmung; 6=volle Ablehnung) aufgeteilt in die verschiedenen Kategorien in Abhängigkeit vom Jahrgang

Signifikant sind die Mittelwertunterschiede für die Differenz zwischen Klasse acht und den Klassen der Oberstufe 11, 12 und 13. Mit einem niedrigeren Mittelwert drückten die Schülerinnen und Schüler der Oberstufe eine höhere Grundmotivation aus. Abb. 89 zeigt im Einzelnen die Antwortstruktur der einzelnen Items in der Kategorie „Grundmotivation“.

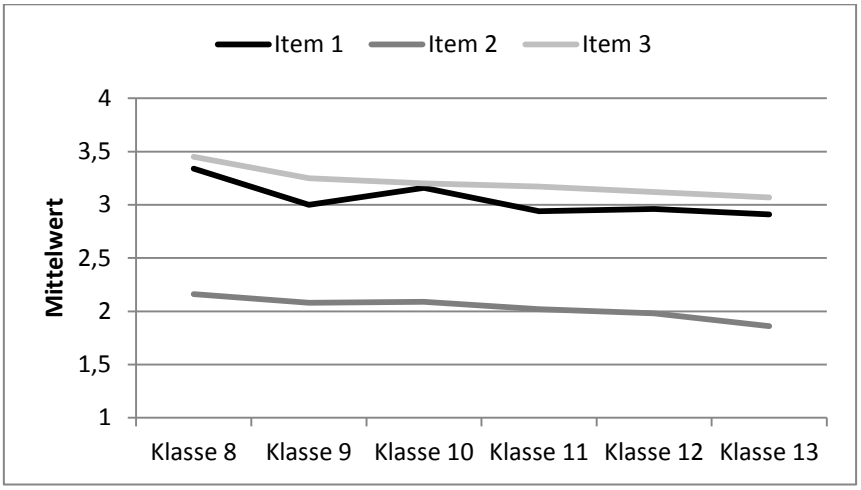


Abb. 89: Mittelwertunterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern verschiedener Jahrgänge in den einzelnen Items der Kategorie „Grundmotivation“

Der Verlauf der Kurven von Item 2 und Item 3 ist vergleichbar. Die Mittelwerte sinken stetig mit aufsteigendem Jahrgang. Je älter die Schülerinnen und Schüler waren, desto eher gaben sie an, dass sie dem Unterricht so gut wie möglich folgen und dass sie die meisten Fächer interessant finden. Auch für das Item 1 (Ich gehe gerne zur Schule) kann man einen Unterschied zwischen den Mittelwerten der Oberstufenschülerinnen und -schüler und den Klassen acht, neun und zehn feststellen. Letztere Gruppe weist Mittelwerte über drei auf, die älteren Schülerinnen und Schüler hingegen Mittelwerte unter drei. Insgesamt fällt noch auf, dass die Mittelwerte von Item 2 deutlich niedriger liegen als die der anderen beiden Items. Die Schülerinnen und Schüler äußerten sich also sehr zustimmend auf die Frage, ob sie dem Unterricht so gut wie möglich folgen. Das Ergebnis gibt in diesem Fall wieder, dass die Motivation in Bezug auf die drei abgefragten Einstellungen steigt, sobald die Schülerinnen und Schüler die Oberstufe erreicht habe. Dann haben sie sich selbst zum Fortführen der Schullaufbahn entschieden. Auch kann das Wählen von Schwerpunkten in der Oberstufe zu einer größeren Motivation beitragen.

In der Kategorie „Aktivität im Unterricht“ lassen sich ebenfalls einige Mittelwertunterschiede feststellen. Die Mittelwerte der Klassen acht und neun sind dabei mit 2,50 und 2,52 vergleichbar. Beide unterscheiden sich jedoch signifikant von den Mittelwerten der Klassen zehn und zwölf. (2,78 und 2,95). Ebenso signifikant unterschiedlich ist der Mittelwert der Klasse elf (2,64) vom Mittelwert der Klasse 12. Die jüngeren Schüler erreichen hier die kleinsten Werte gaben also im Umkehrschluss an im Vergleich am Aktivsten zu sein. Die Gruppe der Zwölfklässler und Zwölfklässerinnen müssen dem Ergebnis nach für weniger aktiv gehalten werden. Die Mittelwerte liegen aber alle in einem Bereich zwischen 2,50 und 2,95. Es wird also zumindest teilweise Zustimmung ausgedrückt. Die Aktivität im Unterricht wird hier in Hinsicht auf Gruppenarbeit und Experimentieren abgefragt. In der Oberstufe steht der Wissenserwerb allerdings deutlich mehr im Vordergrund als in der Mittelstufe. Dementsprechend wird der Unterricht methodisch gestaltet, weshalb man vermuten könnte, dass auch für die Schülerinnen und Schüler in den höheren Klassen das kooperative Lernen in Gruppen weniger wichtig erscheint.

In der Kategorie „Erkennen von füU“ sind zwei signifikante Mittelwertunterschiede zu verzeichnen. Obwohl die Mittelwerte der achten, neunten und zehnten Klassen mit 2,98, 2,99 und 2,98 sehr gleich ausfallen, ist lediglich der Mittelwert der Neuntklässler zum Mittelwert der Elftklässler signifikant verschieden. Das resultiert in diesem Fall sicherlich aus dem breit gestreuten Antwortverhalten der Klassen acht und zehn. Ein weiterer signifikanter Mittelwertunterschied findet sich zwischen der Gruppe der Elftklässler und den Schülerinnen und Schülern der dreizehnten Klasse. Der Mittelwert der Elftklässler ist im Vergleich am niedrigsten (2,79), der Wert der Klasse dreizehn am höchsten (3,07). Man könnte daraus schließen, dass die Elftklässler fächerübergreifenden Unterricht am ehesten wahrnehmen oder am meisten erfahren, Schülerinnen und Schüler der dreizehnten Kasse jedoch im Vergleich weniger fächerübergreifenden Unterricht erleben oder diesen seltener erkennen. Die Vermutung liegt nahe, dass die Schülerinnen und

Schüler der dreizehnten Klasse in der Vorbereitung auf das Abitur stark auf Wissenserwerb konzentriert sind. In der elften Klasse kommt es wahrscheinlich häufiger vor, dass ein Thema aus der Mittelstufe wiederholt wird. Betrachtet man das Item „Wiederholung von Inhalten“ genauer, stellt man auch fest, dass vor allem die Gruppen der elften und zwölften Klassen mit Mittelwerten von 2,74 und 2,83 zustimmen. Die Mittelwerte der anderen Gruppen liegen alle über drei. Insgesamt liegen in dieser Kategorie die Mittelwerte des ersten Items am niedrigsten (zwischen 2,50 und 2,67). Die allgemeine Frage, ob viele Fächer etwas mit anderen Fächern zu tun haben, wird also insgesamt sehr zustimmend bewertet.

Ein weiterer signifikanter Mittelwertunterschied ist in der Kategorie „Vorurteile“ zu beobachten. Die Mittelwerte nehmen zunächst von Klasse acht zu Klasse zehn ab (3,38, 3,26 und 3,11) und steigen dann wieder an (3,23 und 3,44 für sowohl zwölfte als auch dreizehnte Klasse). Die Mittelwerte der zehnten und zwölften Klasse sind hier signifikant verschieden. Interessanterweise liegen alle Mittelwerte im Bereich der Zustimmung. Über alle Gruppen wird den Vorteilen also im Mittel zugestimmt. Am stärksten fällt diese Zustimmung bei den Zehntklässlern aus, während die Schülerinnen und Schüler der Klassen 12 und 13 am schwächsten zustimmen. Allerdings ist es für dieses Kategorie interessant die Items einzeln zu betrachten (vgl. Abb. 90).

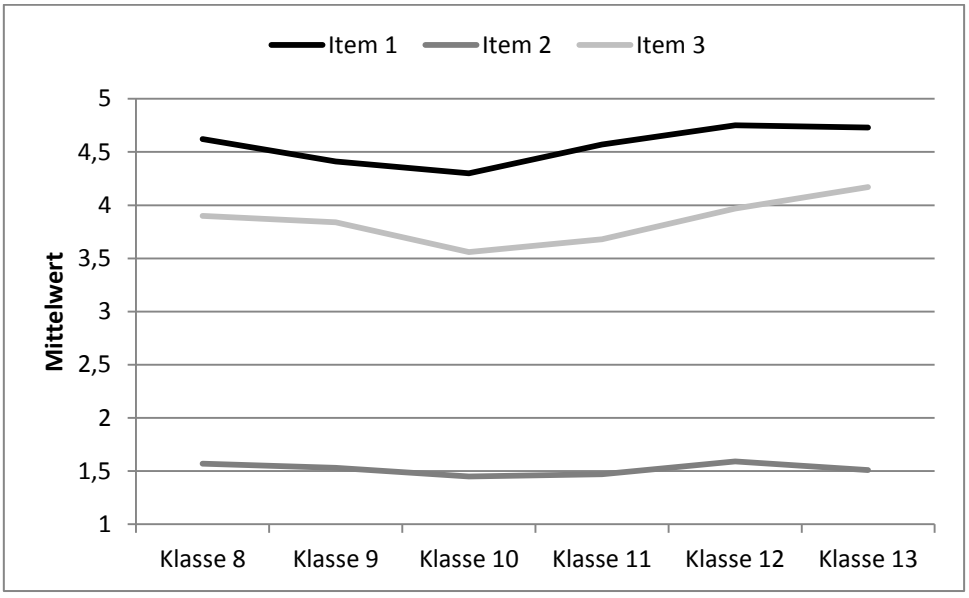


Abb. 90: Mittelwertunterschiede zwischen den Schülerinnen und Schülern verschiedener Jahrgänge in den einzelnen Items der Kategorie „Vorurteile“

Auf den ersten Blick auffällig sind die deutlich niedrigeren Mittelwerte des Items zwei. Das manche Menschen für bestimmte Fächer begabter sind als andere wurde von den Schülerinnen und Schülern einstimmig bejaht. Die Mittelwertunterschiede sind nur sehr gering. Die beiden anderen Items erfahren hingegen Ablehnung oder nur schwache Zustimmung. Die Mittelwerte bei der Frage danach, ob wer gut in Englisch ist meistens auch schlecht in Mathe ist, liegen alle zwischen 4,30 und

4,73. Die Schülerinnen und Schüler lehnten dieses Vorurteil ab, allerdings liegen die Werte nicht so hoch, dass man von völliger Ablehnung sprechen könnte. Ob männliche Schüler besser in Naturwissenschaften sind als Schülerinnen wurde nur von den Schülerinnen und Schülern mit einem ablehnenden Mittelwert über vier quittiert.

3.1.2.7 Einstellungsvariablen in Hinsicht auf das Lieblingsfach

In Hinsicht auf die angegebenen Lieblingsfächer der Schülerinnen und Schüler konnten einige signifikante Unterschiede im Antwortverhalten in Hinsicht auf die Einstellungsvariablen beobachtet werden.

Im Bereich der Grundmotivation drückten die Schülerinnen und Schüler mit 2,62 eine mit .004 signifikant höhere Motivation aus, welche als erstes Lieblingsfach eine Naturwissenschaft angaben. Die Schülerinnen und Schüler, die als erstes Fach eine Geisteswissenschaft angaben, liegen mit einem Mittelwert von 2,74 leicht darüber. Dasselbe Bild zeigt sich bei der Betrachtung des zweiten Lieblingsfachs. Die Schülerinnen und Schüler, die eine Naturwissenschaft als zweites Lieblingsfach Angaben (2,66) drückten eine mit .016 signifikante höhere Motivation aus als die Schülerinnen, die eine Geisteswissenschaft als Lieblingsfach angaben (2,76).

In den anderen Kategorien konnten keine weiteren signifikanten Mittelwertunterschiede festgestellt werden. Ebenso wenig kann man keine tendenziellen Muster oder Strukturen finden.

Betrachtet man jedoch die Kombination aus Lieblingsfach eins und zwei, so stellt man fest, dass in der Kategorie Grundmotivation die Schülerinnen und Schüler mit zwei Naturwissenschaften mit 2,52 deutlich unter denen mit zwei Geisteswissenschaften liegen (2,68). Die Mittelwerte sind mit .012 signifikant unterschiedlich.

Ein ähnliches Muster findet sich in der Kategorie „Vorurteile“. Hier gaben die Schülerinnen und Schüler mit zwei Naturwissenschaften eine deutlichere Zustimmung zu den Vorurteilen an (3,28) als die Schülerinnen und Schüler, die eine Geisteswissenschaft und eine Naturwissenschaft angaben (3,57). Die Signifikanz liegt bei .002. So scheint auch logisch, dass Schülerinnen und Schüler, die gemischte Lieblingsfächer angaben, kaum zustimmen können, wenn danach gefragt wird, ob gute Englischschülerinnen und -schüler automatisch schlecht in Mathe seien. Noch niedriger liegt der Mittelwert bei den Schülerinnen und Schülern, die zwei Geisteswissenschaften angeben (3,19). Er ist hoch signifikant (.000) verschieden vom Mittelwert derer, die eine Geisteswissenschaft und ein Naturwissenschaft angaben.

Die Kategorie „Kritik an füU“ deckt zwei signifikante Mittelwertunterschiede auf, nämlich zwischen den Schülerinnen und Schülern mit zwei Naturwissenschaften zu denen mit zwei Geisteswissenschaften (.010) und zwischen den Schülerinnen und Schülern mit zwei Geisteswissenschaften zu denen mit einer Geisteswissenschaft und einer Naturwissenschaft (.006).

3.2 Empirische Erhebung unter LehrerInnen

3.2.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption und Erhebungsmethode

Die Erhebung wurde unter Lehrerinnen und Lehrern neun verschiedener mittelhessischer Schulen durchgeführt. Dazu zählten sowohl Gymnasien von der fünften bis zur dreizehnten (bzw. zwölften) Klasse, Oberstufengymnasien und Mittelstufen (Gesamt- und Realschulen). Die Teilnehmerzahl von 169 Teilnehmern teilt sich zu 54,4% in weiblich und 41,9% in männlich auf (3,8% ohne Angabe). Es nahmen Lehrerinnen und Lehrer mit angegebenen Geburtsjahren zwischen 1943 und 1986 teil, wobei Median und Mittelwert eng beieinander, nämlich bei 1970 bzw. 1969 lagen. Da die Erhebung an verschiedenen Schulformen durchgeführt wurde, setzt sich die Menge aus Lehrerinnen und Lehrern verschiedener Lehrämter zusammen (vgl. den folgenden Abschnitt). Ebenso variieren die Fächerkombinationen.

Die Erhebung fand mittels Fragebogen statt. Der Bogen wurde nach dem Pre-Test nur in wenigen Einzelheiten verändert. Die meisten Fragen wurden zum Ankreuzen auf einer sechsstufigen, endverbalisierten Skala abgefragt. Die Realiabilitätsanalyse ergab bei den meisten Items eine hohe Trennschärfe oberhalb von 0,5.

Der Bogen teilt sich in verschiedene Fragestrukturen auf. Zum einen wurden Einstellungen zum Thema des fächerübergreifenden Unterrichts (füU) abgefragt. Zum anderen wurden persönliche Daten sowie Angaben über die Häufigkeit von fächerübergreifendem Unterricht abgefragt. Die gestellten Forschungsfragen lassen sich am besten durch genauere Betrachtung der einzelnen Items verdeutlichen.

.

Tab. 7: Fragebogenaufbau

Austausch mit KollegInnen	***Sinn füU***	***Umsetzung füU***	***Hindernisse füU***	***Kritik füU***
Austausch in Unterrichts-pausen	SuS erhalten Übersichts-wissen	Teamunterricht	Lehrplan	Wdh. von Inhalte und Methoden
Austausch über eine gemeinsame Klasse	Förderung der Problemlöse-fähigkeit	Wertschätzung füU im eigenen Unterricht	Zeit	Fächerstruktur schafft Orientierung
Austausch über Unterrichts-gestaltung	Vermittlung von Schlüssel-kompetenzen	Verknüpfung mit Inhalten anderer Fächer		Inhalte und Methoden andere Fächer

Abgefragt wurden Einstellungen aus verschiedenen Bereichen. Die konfirmatorische Faktorenanalyse bestätigte den Aufbau des Fragebogens. Es wurden sechs Faktoren gefunden, welche den theoretisch zugrunde gelegten Kategorien entsprachen. Die folgende Tabelle zeigt die Zusammensetzung der Itemfragen aus fünf Kategorien

In der Kategorie „Austausch mit KollegInnen“ wurde die Vernetzung zwischen Lehrerinnen und Lehrern abgefragt. Dazu werden der Austausch in Unterrichtspausen, über eine gemeinsam zu unterrichtende Klasse sowie der Austausch zur konkreten Unterrichtsgestaltung gezählt. In der Kategorie „Sinn füU“ wurde erhoben inwieweit die Lehrerinnen und Lehrer fächerübergreifenden Unterricht für sinnvoll halten. Die einzelnen Items fragten ab, ob die Schülerinnen und Schüler durch fächerübergreifenden Unterricht anwendbares Übersichtswissen gewinnen, Problemlösefähigkeiten trainieren und überfachliche Schlüsselkompetenzen erwerben. Im Bereich „Umsetzung füU“ wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gefragt, ob sie bereits im Team unterrichtet haben, ob sie in ihrem eigenen Unterricht Wert auf fächerübergreifende Ansätze legen und ob sie die Inhalte der eigenen Fächer mit Inhalten aus anderen Fächern verknüpfen.

Die Kategorie „Hindernisse füU“ stellt dar, welche Probleme bei der Realisierung von fächerübergreifendem Unterricht auftreten könnten. Dazu zählt zum einen der Lehrplan (heute: Kompetenzziele), welcher eventuell zu eng gesteckt sein könnte und so direkte Auswirkung auf die Zeit hat, die Lehrerinnen und Lehrern zur Verfügung steht. Das dritte Item aus diesem Bereich wurde aufgrund der Faktorenanalyse der Kategorie „Kritik füU“ zugeordnet. In dieser Kategorie wurde erhoben, ob Lehrerinnen und Lehrer der Meinung sind, dass fächerübergreifender Unterricht zur Langeweile auf Seiten der Schülerinnen und Schüler führt, sollten sich Inhalte wiederholen. Außerdem wurde erfragt, ob ein positiver Aspekt am kanonisierten Schulsystem ist, dass ein fester Stundenplan eine Orientierungshilfe für die Schülerinnen und Schüler darstellt. Das letzte Item fragt danach, ob Lehrerinnen und Lehrer mit Methoden und Inhalten fremder Fächer überfordert sind und entstammt der Kategorie „Hindernisse füU“.

Neben den Einstellungsfragen wurde abgefragt, wie häufig die Lehrerinnen und Lehrer fächerübergreifenden Unterricht verwirklichen, welche Fächer sie bereits fachfremd unterrichtet haben und aus welchen anderen Fächern sie Inhalte in ihren Unterricht integrieren.

Insgesamt soll so ein Überblick darüber gewonnen werden inwieweit Lehrerinnen und Lehrer fächerübergreifenden Unterricht für sinnvoll halten, ob Hindernisse hoch bewertet werden und ob Zusammenhänge zu den studierten Fächern bestehen. Außerdem soll untersucht werden, welche Fächer häufig fachfremd unterrichtet werden und ob dies von den eigenen studierten Fächern abhängt. Die Häufigkeit von verwirklichtem fächerübergreifendem Unterricht wird in Korrelation zu den studierten Fächern gestellt.

3.2.2 Ergebnisse

3.2.2.1 Häufigkeiten

Wie bereits erwähnt, setzt sich die Teilnehmermenge aus Lehrerinnen und Lehrern zusammen, die verschiedenste Fächer studiert haben. Die folgende Abbildung verdeutlicht die Struktur. Angegeben wird die Teilnehmerzahl in %. Deutlich zu sehen sind die starken Maxima bei den Fächern Mathematik, Englisch und Deutsch im ersten Fach. Viele Studierende entschieden sich für eines der Hauptfächer. Da, gerade an Oberstufen, die Schülerinnen und Schüler nicht mehr alle Fächer besuchen müssen, die Hauptfächer aber bis zum Ende der Schullaufbahn Pflicht bleiben, ist diese Häufung realistisch. Des Weiteren wurden die Fächer Biologie und Sport häufig benannt. Als zweites Fach gaben viele Lehrerinnen und Lehrer erneut Deutsch und Englisch an, Mathematik jedoch nicht mehr. Weitere häufig genannte Zweitfächer sind Chemie, Physik und Geschichte. Andere Fächer hingegen wurden nur selten benannt. Dazu gehört Informatik, Spanisch oder andere Sprachen, Latein, Ethik und Philosophie. Hier handelt es sich um Wahlfächer, die nicht von allen Schülerinnen und Schülern besucht werden.

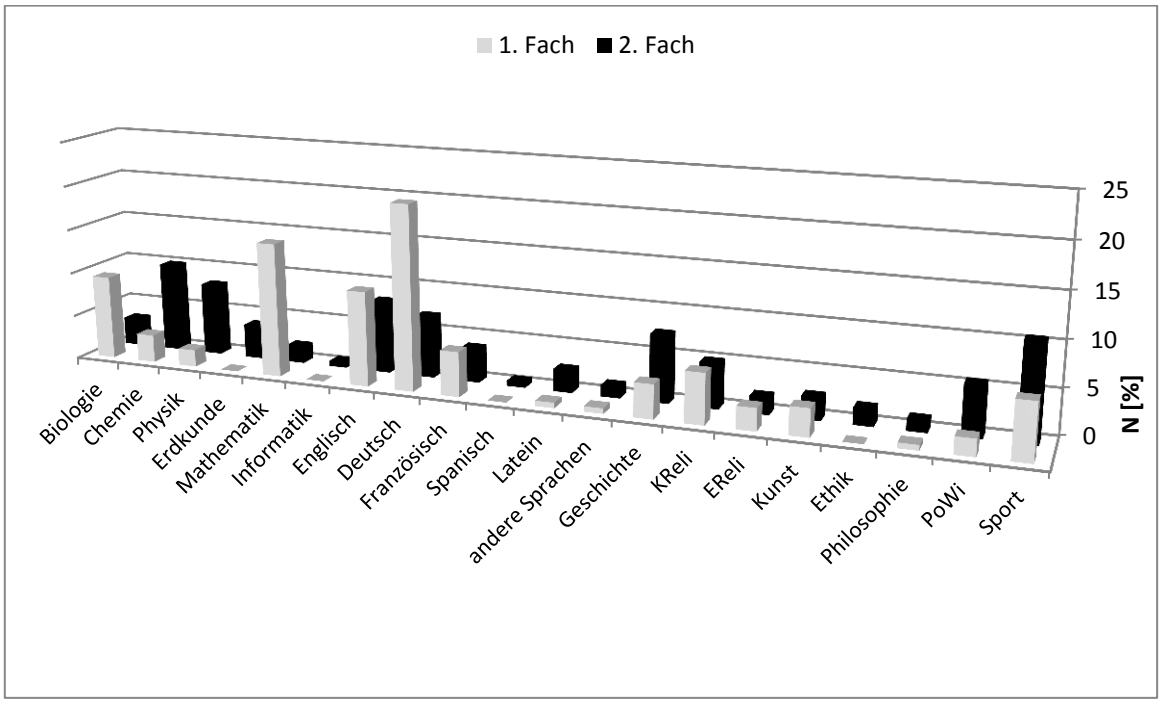


Abb. 91: Übersicht der studierten Fächer.

Ebenso setzt sich die Teilnehmermenge aus Lehrerinnen und Lehrern zusammen, die verschiedene Lehrämter studiert haben. Der größte Teil mit 71,9% wird gebildet von Lehrkräften, die L3, also

Lehramt für Gymnasien, studiert haben. Mit 17,5% ist der Anteil der Lehrerinnen und Lehrer, die L2, also Haupt- und Realschullehramt, studierten, relativ gering. 6,3% gaben an, ein anderes Lehramt studiert zu haben. Dazu kann Grundschullehramt oder Lehramt an Förderschulen gezählt werden. In diesem Anteil finden sich auch Lehrerinnen und Lehrer, die aus einem anderen Beruf quereingestiegen sind.

Um die Auswertung übersichtlicher zu gestalten, wurden die Fächer Kategorien zugeordnet. Es wurden die Kategorien „Naturwissenschaft“ und „Geisteswissenschaft“ gewählt. Folgende Abbildung bietet einen Überblick über die Häufigkeit studierter Fächer und die Einteilung in Kategorien sowie in die möglichen Kombinationen.

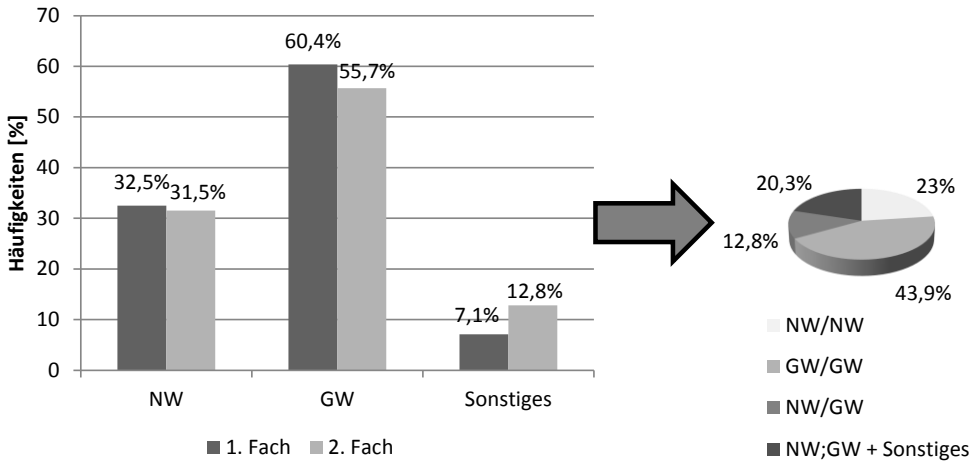


Abb. 92: Kategorie (Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft) der studierten Fächer und deren Kombinationen.

Das Verhältnis zwischen erstem und zweitem Fach in der Kategorie Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft bleibt annährend gleich. 32,5% gaben an als erstes Fach eine Naturwissenschaft studiert zu haben, als zweites Fach waren es 31,5%. Ebenso gaben 60,4% der Befragten an, als erstes Fach eine Geisteswissenschaft studiert zu haben, 55,7% gaben dies für das zweite Fach an. Demnach haben über beide Fächer betrachtet deutlich mehr Lehrerinnen und Lehrer eine Geisteswissenschaft studiert als eine Naturwissenschaft. Betrachtet man zum Beispiel nur die Hauptfächer (vgl. Abb. 92), ist dieser Sachverhalt evident. Von den Hautfächern wurde Mathematik zum Bereich der Naturwissenschaften gezählt während Deutsch und Englisch in den Bereich der Geisteswissenschaften fallen.

Betrachtet man die Kombinationen, sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Zum einen die Kombination aus zwei Naturwissenschaften, welche mit 23% vertreten ist. Zum anderen die Kombination zweier Geisteswissenschaften, welche mit 43,9% die häufigste Kombination bildet. Die Kombination aus einer Naturwissenschaft und einer Geisteswissenschaft ist jedoch relativ selten und hier nur mit 12,8% vertreten. Diese Beobachtung kann nicht darauf zurück geführt werden,

dass es mehr geisteswissenschaftliche Fächer als Naturwissenschaften an der Schule gibt. Es scheint im absolutem Sinne nicht häufig vorzukommen, dass neben einer Naturwissenschaft eine Geisteswissenschaft studiert wird.

Ebenso ist es möglich die Kategorie des studierten Fachs in Abhängigkeit des Geschlechts zu betrachten. Die folgende Abbildung veranschaulicht, dass deutlich mehr Männer eine Naturwissenschaft, sowohl als erstes als auch als zweites Fach, studiert haben als Frauen. Im Bereich der Geisteswissenschaften dreht sich diese Beobachtung um. Deutlich mehr Frauen unterrichten geisteswissenschaftliche Fächer. Dieser Sachverhalt wird häufig als „Klischee“ diskutiert. Die hier vorliegenden Daten bestätigen allerdings das Vorurteil, dass Männer eher Naturwissenschaften studieren und Frauen häufiger in den Geisteswissenschaften zu finden sind.

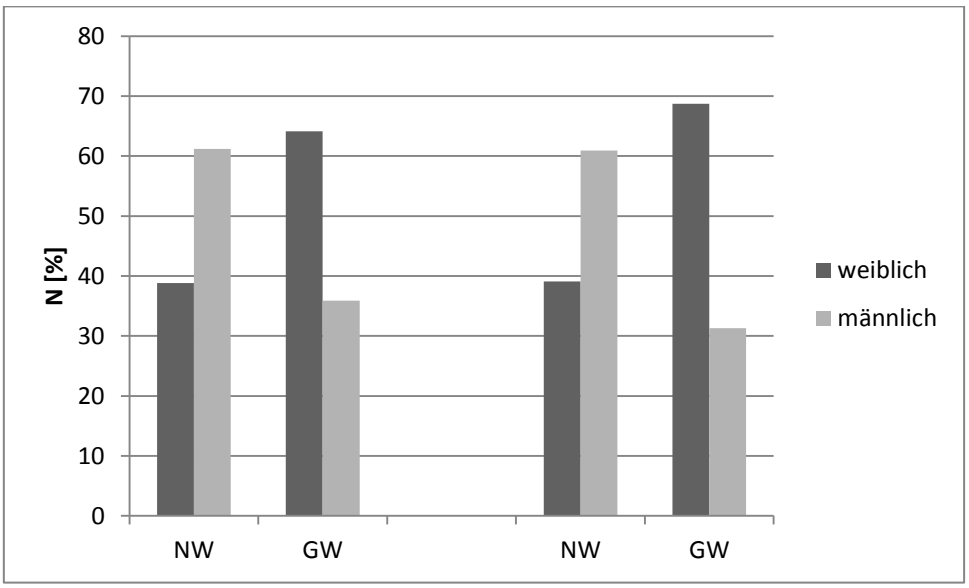


Abb. 93: Kategorie (Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft) der studierten Fächer in Abhängigkeit vom Geschlecht. Links: erstes Fach; Rechts: zweites Fach.

Ebenso verhält es sich mit der Kombination von Fächern. 66,7% der Lehrer, die Angaben zwei Naturwissenschaften studiert zu haben waren männlich. 66,2% der Lehrerinnen, die Angaben zwei Geisteswissenschaften zu unterrichten waren weiblich.
Betrachtet man einzelne Fächer so fallen im Bereich des ersten Fachs besonders Unterschiede in den Fächern Mathematik, Englisch, Deutsch und Kunst auf. Während Mathemathik am häufigsten von männlichen Lehrern unterrichtet wird, unterrichten vor allem Lehrerinnen Deutsch, Englisch und Kunst. Bei den Zweitfächern unterscheidet es sich hauptsächlich in den Fächern Physik, was eher von Lehrern unterrichtet wird, sowie Deutsch, Französisch und Religion, welches Fächer sind, die hauptsächlich von Lehrerinnen unterrichtet werden.
Stellt man die Frage, welche Fächer in den eigenen Unterricht integriert wurden, kann man feststellen, dass tendenziell eher Lehrer Chemie, Physik und Biologie oder Mathematik integrieren,

während Lehrerinnen häufig Bezüge zu Fremdsprachen und Religion sowie Ethik schaffen. Im Bereich der Gesellschaftswissenschaften wie Geschichte, Gesellschaftslehre und Politik und Wirtschaft lassen sich kaum Unterschiede feststellen.

In Hinsicht auf die oben diskutierten Items und die dazugehörigen Kategorien können folgende Aussagen getroffen werden.
Zunächst ist es möglich, die Mittelwerte über die gesamte Gruppe der Befragten zu vergleichen. Diese sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Die Antworten wurden wie bereits diskutiert auf einer Skala von 1 bis 6 gegeben, wobei 1 volle Zustimmung und 6 volle Ablehnung ausdrückt. In der Kategorie „Austausch mit KollegInnen“ wurde tendenziell Zustimmung ausgedrückt. Mittelwerte von 2,30, 3,06 und 2,60 legen nahe, dass sich die befragten Lehrerinnen und Lehrer tendenziell eher austauschen. Die Spannweite des Antwortmusters lässt allerdings auch die Vermutung zu, dass dieser Austausch nicht selbstverständlich ist und nicht immer genutzt wird.

Ebenso verhält es sich in den Kategorien „Sinn für füU“ und „Erfahrung füU“. Die Mittelwerte drücken Zustimmung aus, die Antworten sind jedoch wiederum breit verteilt.
Die Kategorien „Hindernisse füU“ und „Kritik füU“ unterscheiden sich jedoch von den bisher besprochenen Kategorien. Während die Mittelwerte in der Kategorie „Hindernisse für füU“ auf Neutralität schließen lassen, lehnen die Befragten in der Kategorie „Kritik füU“ eher ab, dass fächerübergreifender Unterricht durch Redundanz zu Langeweile bei den Schülerinnen und Schülern führt oder dass sie mit den Inhalten und Methoden der anderen Fächer überfordert sind.

Tab. 8: Mittelwerte der einzelnen Items auf einer Skala von 1 bis 6. 1= ich stimme voll zu; 6 = ich stimme gar nicht zu.

	Mittelwert
Kategorie „Austausch mit KollegInnen“	
Ich nutze die Zeiten in den Unterrichtspausen, um mich mit meinen KollegInnen auszutauschen.	2,30
Ich spreche mich mit anderen LehrerInnen über den Unterricht von einer gemeinsamen Klasse ab.	3,06
Ich tausche mich mit KollegInnen über die Unterrichtsgestaltung aus.	2,60
Kategorie „Sinn FüU“	
Durch fächerübergreifenden Unterricht erhalten die SchülerInnen anwendbares Übersichtswissen.	2,28
Fächerübergreifender Unterricht fördert die Problemlösefähigkeit der SchülerInnen.	2,30
Durch fächerübergreifenden Unterricht werden den	2,26

SchülerInnen überfachliche Schlüsselkompetenzen vermittelt.	
Kategorie „Erfahrung FüU“	
Ich habe bereits mit anderen LehrerInnen im Team unterrichtet.	2,76
Ich lege Wert auf fächerübergreifende Ansätze in meinem Unterricht.	2,53
Ich verknüpfe in meinem Unterricht Inhalte aus meinen Fächern mit Inhalten aus anderen Fächern.	2,36
Kategorie „Hindernisse FüU“	
Der Lehrplan verhindert fächerübergreifenden Unterricht.	3,45
Ich habe zu wenig Zeit, um fächerübergreifend zu unterrichten.	3,10
Kategorie „Kritik füU“	
Das Problem an fächerübergreifendem Unterricht ist, dass sich Inhalte mehrfach wiederholen, was die SchülerInnen langweilen kann.	4,19
Die Fächerstruktur schafft im Gegensatz zu fächerübergreifendem Unterricht eine Orientierung für die SchülerInnen.	3,76
Die Inhalte und Methoden anderer Fächer überfordern mich.	4,37

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Lehrerinnen und Lehrer eine positive Haltung zum fächerübergreifenden Unterricht zum Ausdruck brachten. Der Sinn von fächerübergreifendem Unterricht wurde positiv bewertet, wohingegen die kritischen Items eher abgelehnt wurden. Die Lehrerinnen und Lehrer gaben so an, dass sie fächerübergreifenden Unterricht für wichtig halten, um den Schülerinnen und Schülern Übersichtswissen, überfachliche Kompetenzen und problemlösendes Denken zu vermitteln. Sie waren eher nicht der Meinung, dass fächerübergreifender Unterricht zu Redundanz und Orientierungslosigkeit führt.

Die Antwortstrukturen wurden außerdem daraufhin untersucht, ob es Unterschiede zwischen Lehrerinnen und Lehrern verschiedener Fächer gibt. Auszugsweise wurde das Verhältnis der Kategorie „Sinn für füU“ zum ersten studierten Fach abgebildet (Abb. 94). Auf der x-Achse befinden sich die einzelnen Ausprägungen der Skale von 1 (stimme voll zu) bis zu 6 (stimme gar nicht zu). Je niedriger der Wert, desto mehr wurde fächerübergreifendem Unterricht ein positiver Sinn eingeräumt. Interessanterweise stimmten Chemielehrerinnen und Chemielehrer sowie Kunstlehrerinnen und Kunstlehrer am meisten zu, wohingegen Erdkundelehrerinnen und -lehrer den Sinn von fächerübergreifendem Unterricht im Verhältnis gesehen am ehesten ablehnten. Es lässt sich allerdings kein Muster zu den Fachkategorien erkennen. Dieser Sachverhalt sollte, um klaren Aufschluss zu geben, an einer größeren Stichprobe verifiziert werden.

Hier konnten außer in zwei Bereichen keine signifikanten Mittelwertunterschiede gefunden werden.

Vergleicht man die Mittelwerte der Kategorie „Erfahrung mit füU“ drückten die Lehrerinnen und Lehrer mit zwei Geisteswissenschaften aus mehr Erfahrung mit fächerübergreifenden Unterricht zu haben als Kolleginnen und Kollegen mit zwei Naturwissenschaften. Die Mittelwerte von 2,84 (NW/NW) und 2,35 (GW/GW) sind mit .046 knapp signifikant verschieden.

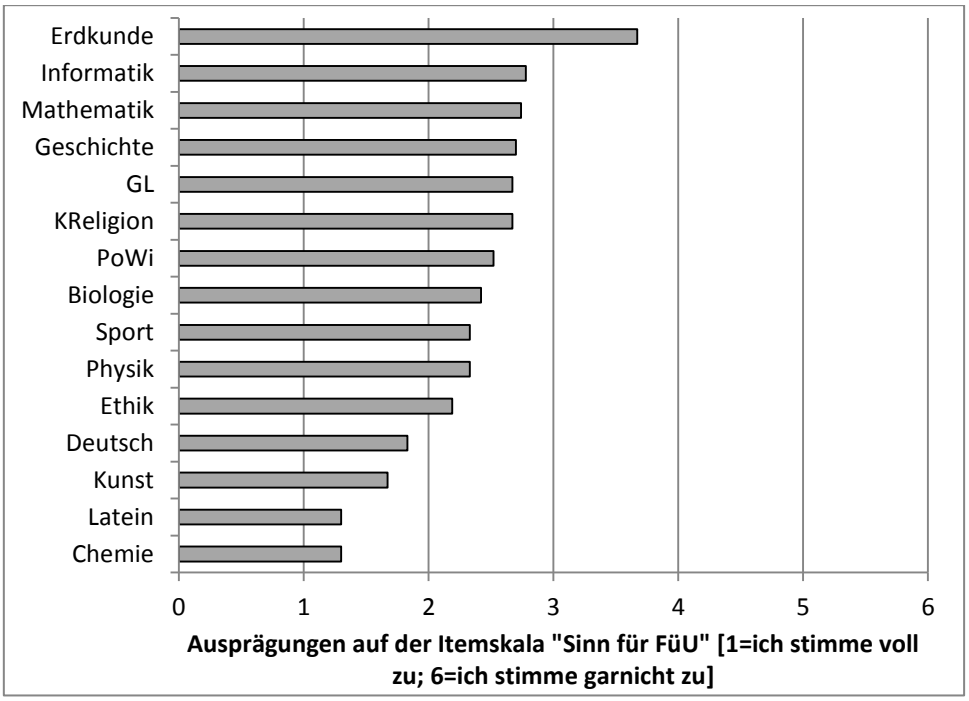


Abb. 94: Erstes Fach (y-Achse) in Kombination der Itemkategorie „Sinn für FüU“. Abgebildet werden Mittelwerte.

Beim Vergleich der verschiedenen Fächerkombinationsmöglichkeiten in der Kategorie „Kritik“ ist ebenfalls mit .034 ein signifikanter Mittelwertunterschied beobachtbar. Lehrerinnen und Lehrer, die eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft unterrichten, stimmten der Kritik mit einem Mittelwert von 3,67 eher zu als Lehrerinnen und Lehrer mit zwei Naturwissenschaften (4,32).
Lehrerinnen und Lehrer verschiedener Fächer drückten höchsten tendenziell verschiedene Meinungen aus. Die Spannweite der Antworten lässt aber keine eindeutige Aussage darüber zu, welche Fachlehrerinnen und Fachlehrer einzelnen Items mehr zustimmen als anderen. Es konnte auch kein Muster in den tendenziellen Antwortverhalten gefunden werden, welches Korrelationen zu den Fächerkategorien aufweist. Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer antworteten in etwa gleich wie Geisteswissenschaftslehrerinnen und -lehrer. Auch in dieser Hinsicht kann nur von Tendenzen gesprochen werden, die allerdings aufgrund ihres spekulativen Anteils hier nicht weiter vertieft werden sollen. Für zukünftige Studien würde es sich anbieten die Stichprobe entweder zu vergrößern oder auf andere Schulformen auszudehnen.

Es können jedoch Aussagen darüber getroffen werden inwiefern die verschiedenen Kategorien innerhalb der Gesamtmenge der Stichprobe zusammen hängen. Es finden sich zum einen signifikante Korrelationen zwischen den Kategorien „Erfahrung von füU“ und „Hindernisse von füU“ bzw. „Kritik füU“. Es lässt sich die Aussage treffen, dass je niedriger die gekreuzte Antwort in der Kategorie „Erfahrung“, dass desto höher die Antworten in den Kategorien „Hindernisse“ und „Kritik“ gekreuzt wurden. Da heißt konkret, dass die Lehrerinnen und Lehrer, die angaben, eine hohe Erfahrung mit fächerübergreifendem Unterricht zu haben, gleichzeitig die Hindernisse geringer einschätzten, bzw. die Kritik eher negierten.
Lehrerinnen und Lehrer, welche die Kategorie „Hindernisse“ niedrig ankreuzten, also eher zustimmten, dass bestimmte Hindernisse bestehen, kreuzten zugleich in der Kategorie „Kritik“ ebenfalls eher zustimmend an. Die in der Kategorie „Hindernisse“ abgefragten Items korrelieren stark mit denen der Kategorie „Kritik“. In Hinsicht auf die Faktorenanalyse ist dieser Sachverhalt stimmig, da ein Item aus der Kategorie „Hindernisse“ in die Kategorie „Kritik“ übernommen wurde. Diese beiden Kategorien sind hier eng miteinander verknüpft. Ebenso finden sich Korrelationen zwischen der Kategorie „Kritik“ und der Kategorie „Sinn füU“. Je niedriger die Kategorie „Kritik“ gekreuzt wurde, also je mehr Zustimmung zu kritischen Aspekten von fächerübergreifendem Unterricht geäußert wurde, umso höher wurde die Kategorie „Sinn von füU“ gekreuzt. Wer also der Kritik eher zustimmte, schätzte den Sinn tendenziell auch geringer ein.
Des Weiteren konnten hoch signifikante Zusammenhänge zwischen den Kategorien „Austausch mit KollegInnen“ sowie „Sinn füU“ und „Erfahrung“ gezeigt werden. Konkret bedeutet das, dass Lehrerinnen und Lehrer, die angaben sich viel auszutauschen tendenziell mehr Erfahrung mit fächerübergreifendem Unterricht haben. Außerdem weisen die Lehrerinnen und Lehrer mit einer höheren Erfahrung dem fächerübergreifenden Unterricht einen höheren Sinn zu.

Zusammenfassend lässt sich für die Auswertung der Skala Items sagen, dass tendenzielle Aussagen getroffen werden können. Das dem Fragebogen zugrunde gelegte Konstrukt wurde durch die Faktorenanalyse bestätigt. Um genaueren Aufschluss über einzelne Fragestellungen zu erhalten, könnten die Fragen noch präzisiert werden, obwohl die Reliabilitätsanalyse eine hohe Trennschärfe zeigt. Eine größere Stichprobe könnte ebenfalls dazu beitragen noch genauere Ergebnisse zu erzielen.

3.2.2.2 Realisierter fächerübergreifender Unterricht

Die Lehrerinnen und Lehrer wurden neben den anzukreuzenden Skala Items ebenfalls danach gefragt wie häufig sie fächerübergreifende Ansätze im eigenen Unterricht verwirklichen. Die folgende Abbildung bietet eine Übersicht über das Antwortmuster. Im Folgenden werden ebenfalls einige interessante Zusammenhänge zu dieser Frage diskutiert.

Lediglich fünf Lehrerinnen und Lehrer gaben an nie fächerübergreifend zu unterrichten. 13 verwirklichen hingegen fächerübergreifenden Unterricht mehrmals in der Woche. Die größte Anzahl der Antworten befindet sich im Bereich „mehrmals pro Schuljahr/Halbjahr/Monat“ (45/49/44 Personen). Das lässt darauf schließen, dass fächerübergreifender Unterricht zu bestimmten Themen durchgeführt wird, die mehrmals in bestimmten Zeiteinheiten vorkommen.

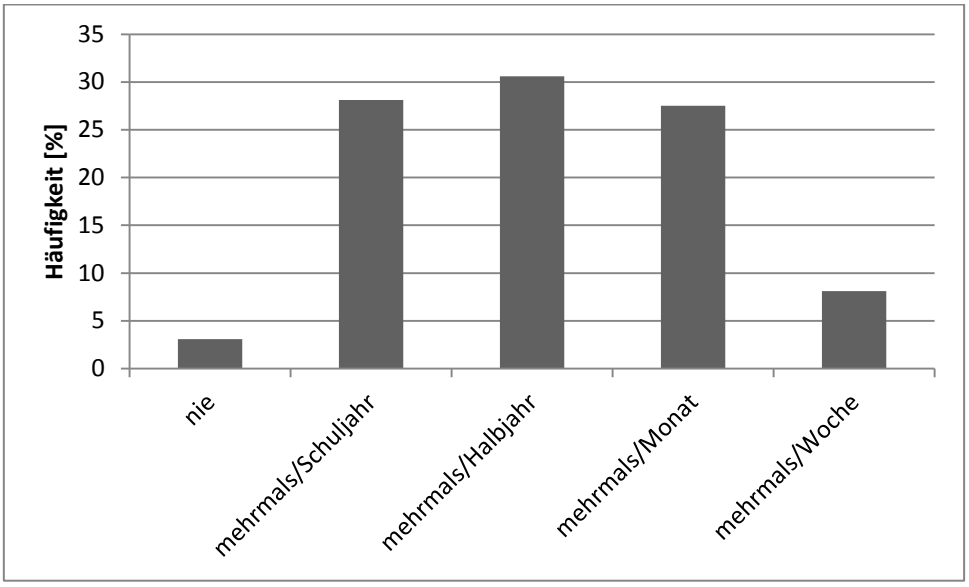


Abb. 95: Anzahl von fächerübergreifendem Unterricht pro Zeit.

Es wird davon ausgegangen, dass sich fächerübergreifende Ansätze nicht für jedes Fach bei jedem Unterrichtsthema anbieten. Es ist daher gut erklärbar, dass Lehrerinnen und Lehrer in bestimmten Zeiteinheiten mehrmals fächerübergreifend unterrichten, dies jedoch nicht (immer) jede Woche tun. Wie auch in der methodischen Umsetzung von Unterricht gilt hier nicht „je häufiger umso besser“, sondern es steht die thematisch gezielte und an die Lerngruppe angepasste Umsetzung von Unterricht im Vordergrund.

In Hinsicht auf die unterschiedlichen Altersstrukturen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer lassen sich tendenzielle Aussagen treffen wie folgende Abbildung verdeutlicht.
Mit einem Mittelwert von 3,96 (1= nie und 5= mehrmals pro Woche) gaben Lehrerinnen und Lehrer mit einem Geburtsjahr zwischen 1954 und 1964 am häufigsten an, fächerübergreifend zu unterrichten, nämlich mehrmals im Monat. Die Mittelwerte der anderen Altersgruppen liegen näher zusammen und knapp eine ganze Skaleneinheit unter der, der 1954 bis 1964 Geborenen. Die Mittelwertunterschiede sind aufgrund der großen Spannweite nicht signifikant, dennoch kann von einer klaren Tendenz gesprochen werden.
Die vergleichsweise ältere Lehrerschaft setzt so am häufigsten fächerübergreifende Ansätze um, wohingegen die Gruppe der jüngsten Lehrerinnen und Lehrer im Vergleich am seltensten fächerübergreifend unterrichten. Es kann vermutete werden, dass junge Lehrerinnen und Lehrer zunächst Sicherheit und Routine im eigenen Fach gewinnen müssen ehe sie sich

fächerübergreifenden Unterrichtsgestaltungen zuwenden. Dies legen auch die Ergebnisse der Studie unter Studierenden nahe (vgl. Abschnitt 3.3), in welcher gezeigt werden konnte, dass Lehramtsstudierende nur wenig lernen wie fächerübergreifender Unterricht umzusetzen ist.

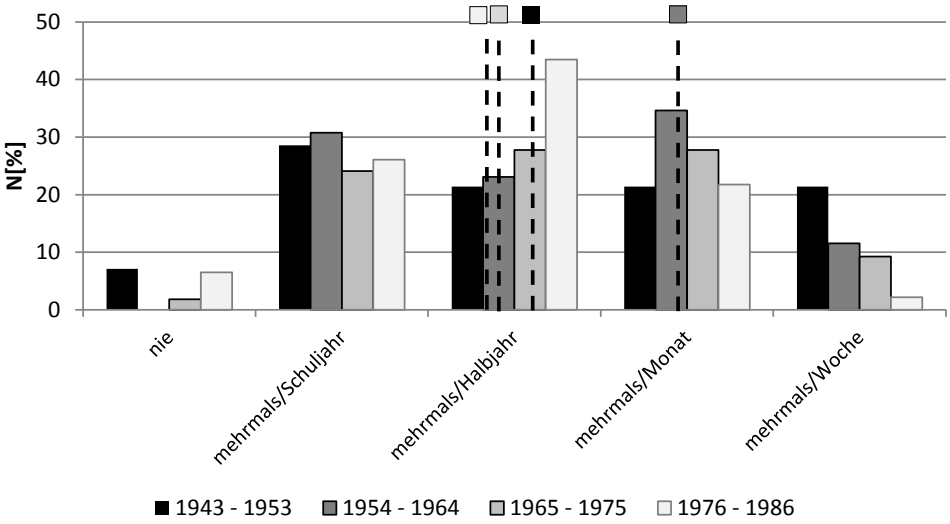


Abb. 96: Anzahl des fächerübergreifenden Unterrichts in Abhängigkeit vom angegebenen Alter.

Ebenso ist es möglich die Anzahl an fächerübergreifenden Ansätzen im eigenen Unterricht in Korrelation zur Fachkategorie zu betrachten. Hier ist zu beobachten, dass die Maxima bei unterschiedlichen Fachkombinationen verschieden sind (vgl. Abbildung 97).

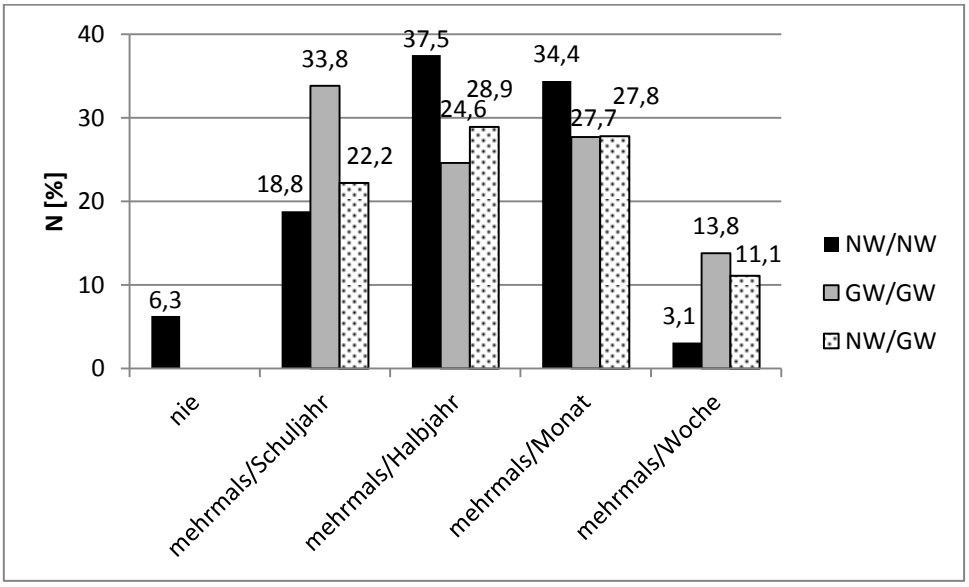


Abb. 97: Häufigkeit fächerübergreifenden Unterrichts in Abhängigkeit von der Kombination der eigenen studierten Fächer.

Mit 37,5% gaben die meisten Lehrerinnen und Lehrer mit der Fachkombination Naturwissenschaft/Naturwissenschaft an mehrmals im Halbjahr fächerübergreifend zu unterrichten. Das Maximum der Lehrerinnen und Lehrer mit der Fachkombination Naturwissenschaft/Geisteswissenschaft liegt mit 28,9% ebenfalls bei mehrmals im Halbjahr. Lehrerinnen und Lehrer mit der Kombination Geisteswissenschaft/Geisteswissenschaft gaben mit 33,8% an mehrmals pro Schuljahr fächerübergreifenden Unterricht zu verwirklichen. Hier kann ebenfalls nur von Tendenzen gesprochen werden. Ob fächerübergreifender Unterricht in den Geisteswissenschaften seltener durchgeführt wird, könnte eventuell mit einer größeren Stichprobe geklärt werden.

Ob fächerübergreifender Unterricht eher von Lehrerinnen und Lehrer durchgeführt wird, die Lehramt für Gymnasien oder Lehramt für Haupt- und Realschule studiert haben, lässt sich ebenfalls tendenziell veranschaulichen (Abb. 98). 38,7% der Lehrerinnen und Lehrer, die Haupt- und Realschullehramt studiert haben, gaben an mehrmals pro Monat fächerübergreifende Ansätze zu verwirklichen. Das Maximum der Gymnasiallehrerinnen und -Lehrer lag hingegen bei mehrmals pro Halbjahr. Das könnte mehrere Ursachen haben. Zum einen könnte vermutet werden, dass das straffe Abitur (eventuell auch in Hinsicht auf G8) nicht viel Raum für fächerübergreifenden Unterricht lässt. Zum anderen könnte in der Mittelstufe noch mehr Wert auf weltnahe und weniger wissensbasierte Unterrichtsthematiken gelegt werden, die fächerübergreifende Ansätze begünstigten.

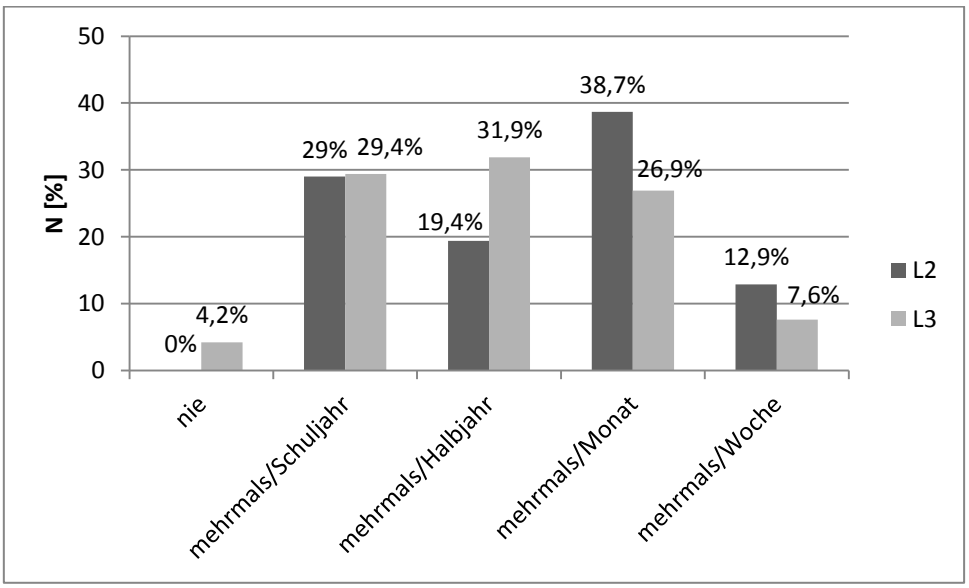


Abb. 98: Häufigkeit fächerübergreifenden Unterrichts in Abhängigkeit des studierten Lehramts.

Im Folgenden soll betrachtet werden, welche Fächer fachfremd unterrichtet werden und ob Korrelationen zu anderen Faktoren vorliegen. In der Abbildung wurden die Fächer dargestellt, die bei der Frage angegeben wurden, welche Fächer fachfremd unterrichtet werden. Demnach gaben

über 70% der Lehrerinnen und Lehrer an Geschichte, Gesellschaftslehre oder Politik und Wirtschaft fachfremd zu unterrichten. Diesem Maximum folgen Deutsch oder Sprachen. Chemie, Physik, Biologie oder Erdkunde wurden von 58,1% der Lehrerinnen und Lehrer genannt. Mathematik und Informatik werden vergleichsweise selten fachfremd unterrichtet.

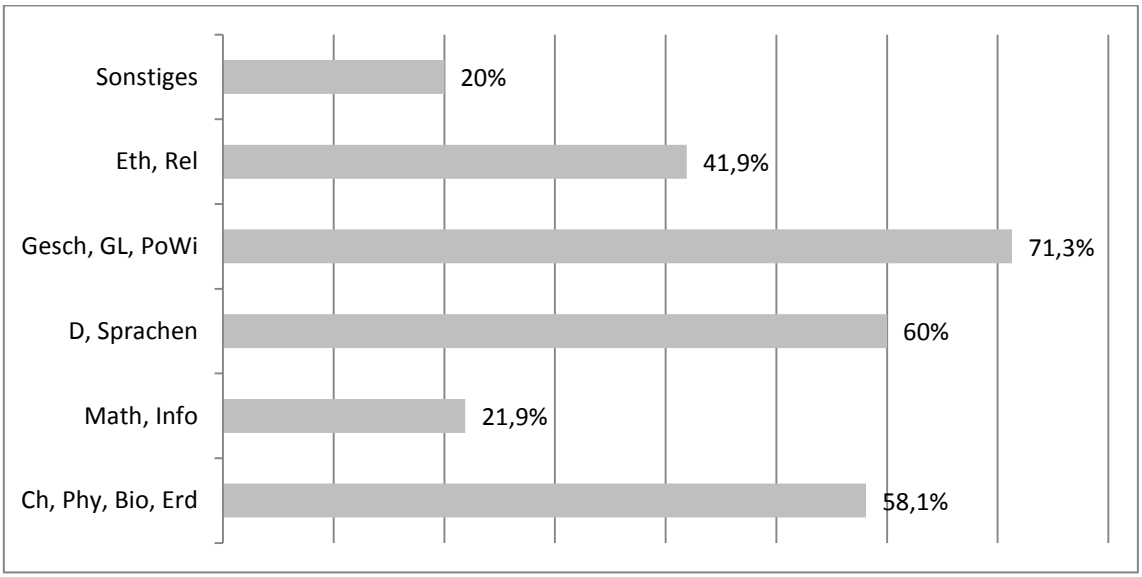


Abb. 99: Fachfremd unterrichtete Fächer. Die Prozentangaben geben an wie häufig die dargestellten Fächer genannt wurden.

Die fachfremd unterrichteten Fächer können in Korrelation dazu untersucht werden, ob das erste (und zweite) Fach eine Geisteswissenschaft oder Naturwissenschaft ist. Wie erwartet, ergeben sich signifikante und hochsignifikante Korrelationen. Die folgende Abbildung fasst den Zusammenhang zusammen.

Hier wurde in schwarzen Balken die Menge der Lehrerinnen und Lehrer dargestellt, welche als Fach eine Naturwissenschaft studiert haben. In den schraffierten Balken diejenigen, die eine Geisteswissenschaft studiert haben. Die linke Seite der Abbildung zeigt das erste Fach, die rechte Seite das zweite Fach. Betrachtet man zunächst den Zusammenhang für das erste Fach, so lassen sich für die Naturwissenschaften Chemie, Physik, Biologie und Erdkunde sowie für Mathematik und Informatik mit -,355 und -,514 Korrelationen im mittleren und hohen Bereich feststellen. In beiden Fällen sind die Korrelationen hoch signifikant und tragen ein negatives Vorzeichen. Für geisteswissenschaftliche Fächer wie Geschichte, Gesellschaftslehre, Politik und Wirtschaft, Ethik und Religion sowie für Deutsch und Fremdsprachen lassen sich ebenfalls Korrelationen im mittleren Bereich erfassen, deren Signifikanz mit Ausnahme von Religion und Ethik hoch ist. Die Menge der Lehrerinnen und Lehrer, die Ethik oder Religion unterrichten, ist vergleichsweise gering. Die Signifikanz und auch die Korrelation könnten mit einer größeren Stichprobe genauer bestimmt werden. Die Vorzeichen der Korrelationen dieser Fächer sind allerdings positiv. Ohne die Häufigkeiten betrachtet zu haben, kann man also die Aussage machen, dass ein „Je-Desto“

Zusammenhang zwischen dem studierten Fach und den fachfremd unterrichteten Fächern besteht, der sich umkehrt, wenn man von naturwissenschaftlichen zu geisteswissenschaftlichen Fächern wechselt. Betrachtet man die Häufigkeiten, hier durch Balken dargestellt, wird der Sachverhalt deutlich sichtbar.

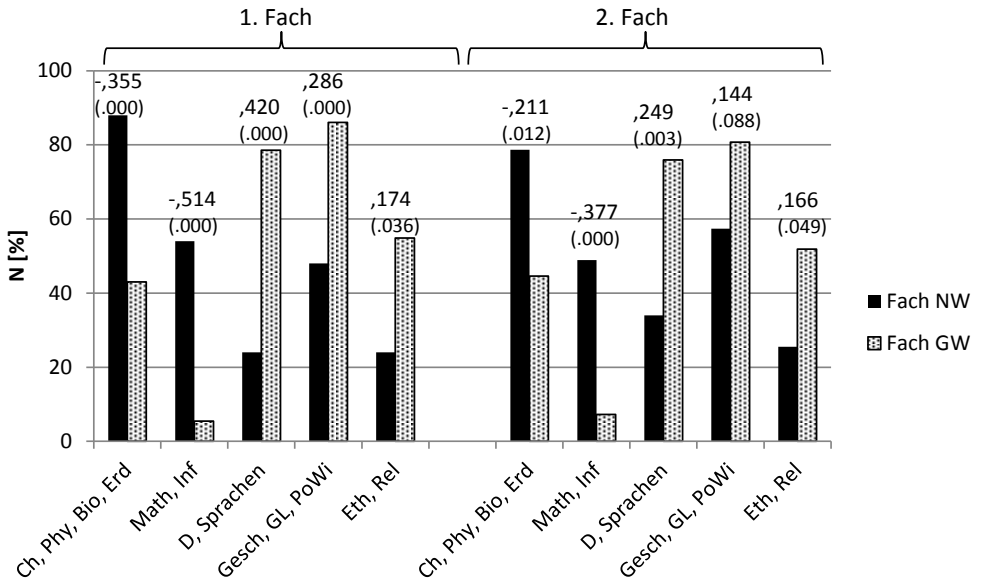


Abb. 100: Bereits fachfremd unterrichtete Fächer (x-Achse) in Abhängigkeit dazu, ob das erste (und zweite) Fach eine Naturwissenschaft oder Geisteswissenschaft ist. Es werden Korrelationen nach Pearson mit entsprechenden Signifikanzen angegeben.

Die Lehrerinnen und Lehrer, welche eine Naturwissenschat studiert haben, unterrichten in der Regel mehr Naturwissenschaften fachfremd. Während beispielsweise 54% der Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer angaben Mathematik fachfremd zu unterrichten, gaben lediglich 5,4% der Geisteswissenschaftslehrerinnen und -lehrer an dies zu tun. Umgekehrt verhält es sich bei den geisteswissenschaftlichen Fächern, die häufiger von Lehrerinnen und Lehrern mit geisteswissenschaftlichen Fächern fachfremd unterrichtet werden. In der Grafik erreichen hier die schraffierten Balken die höheren Werte, welche die Geisteswissenschaftslehrerinnen und -lehrer repräsentieren.

Bei genauer Betrachtung des zweiten Fach stellt man fest, dass hier ebenfalls dasselbe Phänomen zu beobachten ist. Allerdings werden die Korrelationen weniger signifikant und die Häufigkeiten liegen weniger weit auseinander.

Dass Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer häufiger Naturwissenschaften fachfremd unterrichten als Geisteswissenschaftslehrerinnen und –lehrer, macht natürlich Sinn. Aufgrund der geringeren Signifikanzen beim zweiten Fach könnte vermutet werden, dass für die Identifikation als „NaturwissenschaftlerIn“ oder „GeisteswissenschaftlerIn“ das erste Fach vorrangig maßgeblich ist.

Ebenso lassen sich die Kombinationen der Fächerkategorien in Abhängigkeit vom fachfremd unterrichteten Fach untersuchen (vgl. Abb. 101). Hier findet sich ebenfalls, dass die Lehrerinnen und Lehrer, welche zwei Naturwissenschaften studiert haben auch vorrangig Naturwissenschaften fachfremd unterrichten wie zum Beispiel Biologie, Mathematik oder Informatik. Ebenfalls gaben relativ viele NW/NW-Lehrerinnen und Lehrer an Deutsch fachfremd zu unterrichten. Das passt zur absoluten Menge an fachfremd unterrichtetem Deutschunterricht wie in Abbildung 101 dargestellt. Lehrerinnen und Lehrer, welche zwei Geisteswissenschaften studiert haben, unterrichten deutlich häufiger Fächer wie Geschichte, Ethik, Politik und Wirtschaft oder Gesellschaftslehre fachfremd.

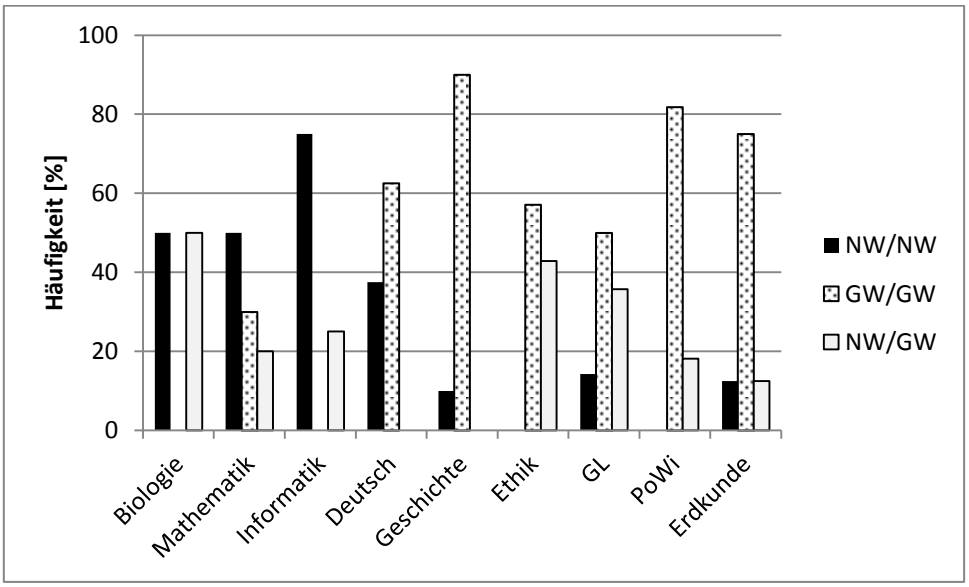


Abb. 101: Bereits fachfremd unterrichtete Fächer (x-Achse) im Verhältnis zur Fächerkombination der eigenen Fächer (NW/NW; GW/GW; NW/GW).

Auffällig ist die große Menge an GW/GW-Lehrerinnen und Lehrer, welche Erdkunde fachfremd unterrichten. Es liegt die Vermutung nahe, dass Erdkunde aufgrund der schulischen Inhalte in diesem Kontext eher als Geisteswissenschaft von der Struktur eher mit Politik und Wirtschaft zu vergleichen, aufgefasst werden kann.

3.3 Empirische Erhebung unter Studierenden des Lehramts

3.3.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption und Erhebungsmethode

Die Erhebung wurde unter Studierenden des Lehramts der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Dazu zählten Studierende der fünf verschiedenen Lehrämter: Lehramt für Grundschulen (L1), Lehramt für Haupt- und Realschulen (L2), Lehramt für Gymnasien (L3), Berufsschullehramt (L4) und Lehramt für Förderschulen (L5). Die Anzahl der Gesamtteilnehmer

belief sich auf 621. Die größte Gruppe mit 40,6% (wenn nicht anderes genannt werden gültige Prozent angegeben) setzte sich aus Studierenden des Lehramts für Gymnasien zusammen. Mit 70,6% nahmen deutlich mehr Studentinnen an der Erhebung teil. Das Alter der Befragten lag zwischen 19 und 32 Jahren. Der Mittelwert lag bei 25 Jahren (Median: 24 Jahre).
Um den Studierenden Fächerkombinationen zuzuordnen, wurde sich auf das erste und zweite studierte Fach beschränkt. Die Fächer wurden in geisteswissenschaftliche und naturwissenschaftliche Fächer aufgeteilt (unter geisteswissenschaftliche Fächer werden auch die Sprachwissenschaften gefasst). Dabei gaben 43,8% der Studierenden an ein naturwissenschaftliches und ein geisteswissenschaftliches Fach zu studieren. 22,7% der Befragten studieren zwei Naturwissenschaften, 33,5% zwei Geisteswissenschaften.
Die Erhebung wurde per Onlinefragebogen durchgeführt. Abgefragt wurden die Grundmotivation, das überdisziplinäre Interesse, die Einstellung zur Fachtrennung und Wünsche bezüglich fächerübergreifenden Unterrichtens. Jede Einstellung wurde in vier Items abgefragt. Zusätzlich dazu wurden ebenfalls in vier Items interdisziplinäre Ansätze im Studium und im Schulpraktikum erhoben. Die Korrelationsrechnung nach Pearson ergab hoch signifikante Korrelationen im mittleren, hohen und sehr hohen Bereich. Die anschließende Reliabilitätsrechnung ergab ein Cronbachs Alpha von 0,853, was einer mittleren Reliabilität entspricht. Mit Hilfe der Trennschärfekoeffizienten wurden zwei Items aus dem Bereich der Grundmotivation aussortiert, die in die weitere Rechnung nicht mit aufgenommen wurden. Die anschließende konfirmatorische Faktorenanalyse ergab wie erwartet vier Gruppen. Die entsprechenden Items wurden zu neuen Variablen zusammengefasst, die entsprechend die Grundmotivation, überdisziplinäres Interesse, Einstellung zur Fachtrennung und Wünsche ausdrücken. Es wurde eine endverbalisierte Skala mit sieben Ausprägungen verwendet.

Wie bereits erwähnt, setzen sich die fünf Kategorien „Grundmotivation“, „Überdisziplinäres Interesse“, „Einstellung zur Fachtrennung“ und „Wünsche“ und „Interdisziplinarität im Studium“ aus mehreren Items zusammen.
Im Bereich der Grundmotivation stand im Vordergrund die grundlegende Einstellung der Lehramtsstudierenden zum Lehrerberuf zu erfassen. In diesem Zuge wurden wesentliche Merkmale abgefragt, die allgemeingültig zu gutem Unterricht beitragen. Dazu zählen die Schülerorientierung, Kompetenzvermittlung und Methodenvielfalt. In einem vierten Item wurde der Spaß am Unterrichten als weiterer Faktor herangezogen. Auf Grund der Reliabilitätsrechnung und Faktorenanalyse wurden zum Bilden der Kategorie Grundmotivation jedoch nur zwei Items herangezogen.
Voraussetzung für gelungenen fächerübergreifenden Unterricht ist sicherlich das Interesse der Lehrkraft über die Fächergrenzen hinweg. Unter überdisziplinärem Interesse wurde in diesem Zusammenhang das Interesse an Inhalten verstanden, die deutlich über das eigene Fach hinausgehen. Die Items fragten ab, ob die Studierenden sich mit Anderen über die jeweiligen Fächer austauschen und ob sie Parallelen zwischen den Disziplinen sehen. Außerdem wurde eine Meinung

zur Fachtrennung an der Universität als Hindernis zum Austausch über die Disziplinen hinweg abgefragt. Letzteres Item wurde aufgrund der Faktorenanalyse jedoch der Kategorie Einstellung zur Fachtrennung zugeordnet.
Grundsätzlich wird sich die Einstellung zur Fachtrennung auf den eigenen Unterricht der zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer auswirken. Das System des atomisierten Unterrichts an der Schule und der disziplinären Trennung an der Universität kann demnach als gut oder schlecht empfunden werden. Daher wurde die Einstellung zur Fachtrennung in Hinsicht auf den schulischen sowie den universitären Zusammenhang abgefragt. Zusätzlich zu diesen vier Items wurde das gerade erwähnte Item aus dem Bereich Überdisziplinäres Interesse zur Erstellung der neuen Kategorie heran gezogen.
Weiterhin wurde den Studierenden in der Kategorie Wünsche die Möglichkeit gegeben, auszudrücken, ob sie sich mehr Förderung den fächerübergreifenden Unterricht betreffend wünschen. Sie wurden beispielsweise gefragt, ob sie sich mehr Möglichkeiten im Schulpraktikum wünschen, um fächerübergreifenden Unterricht zu erproben und ob sie daran interessiert sind Methoden zum fächerübergreifenden Unterricht zu erlernen. Die Faktorenanalyse ließ alle vier Items zur Erstellung der neuen Kategorie zu.
Als letzte Kategorie wurde Interdisziplinarität im Studium gewählt. Allerdings hebt sich der Fragestil deutlich von den bisher besprochenen Items ab. Die ersten vier Kategorien fragten Einstellungen und Meinungen ab, während diese Kategorie Tatsachen abfragte. Die Studierenden wurden gefragt, ob Interdisziplinarität in ihrem Studium eine Rolle spielt, ob von Dozenten Parallelen zu anderen Fächern offen gelegt werden, ob sie im Schulpraktikum fächerübergreifend unterrichtet haben und ob sie gelernt haben wie man fächerübergreifenden Unterricht gestaltet.
Tabelle 9 bietet im Folgenden einen Überblick über die Kategogien und die dazugehörigen Items, die zur Kategorienbildung verwendet wurden. Insgesamt wurden diese fünf Kategorien aus unterschiedlichen Gründen gewählt. Zunächst werden die Beliefs zu Interdisziplinarität und fächerübergreifendem Unterricht unter zukünftigen Lehrerinnen und Lehrern erhoben. Dazu dienen die ersten vier Kategorien. Die Grundmotivation kann so mit dem grundsätzlichen Interesse an fächerübergreifendem Unterricht in Verbindung gebracht werden. Die Einstellung zur Fächertrennung und die Wünsche sollen ebenso viel Aufschluss über die Grundeinstellung zum fächerübergreifenden Unterricht bieten.

Anschließend soll diese Einstellung mit dem aktuellen Zustand verglichen werden. Dieser aktuelle Zustand wird mit Hilfe der fünften Kategorie abgefragt. So wird nicht nur erfasst, ob die Studierenden auf fächerübergreifenden Unterricht vorbereitet werden, sondern auch, ob diese Vorbereitung ihrer Einstellung und ihren Wünschen entspricht. Es soll geklärt werden, inwieweit die Studierenden des Lehramts auf fächerübergreifenden Unterricht vorbereitet werden und ob sie an der Universität eine interdisziplinäre Ausbildung genießen. Außerdem soll die Bereitschaft zukünftiger Lehrerinnen und Lehrer für fächerübergreifende Ansätze aufgedeckt werden.

Tab. 9: Fragebogenaufbau

Einstellungskategorien				
Grund-motivation	***Über-disziplinäres Interesse***	***Einstellung zur Fachtrennung***	***Wünsche***	***Interdisziplinarität im Studium***
Schüler-orientierter Unterricht	Interesse an anderen Fachinhalten	Relevanz zur Verknüpfung von Fächern für SuS	Mehr über füU lernen	Kontakt mit Interdisziplinarität
Kompetenz-orientierung	Interesse an Austausch mit anderen Studierenden über deren Fächer	Relevanz vom Lernen fü-Lehrens im Studium	Mehr Zusammenarbeit mit anderen Studierenden, die fü unterrichten wollen	Schnittstellen zu anderen Fächern
	Wahrnehmung von Parallelen zwischen den eigenen und anderen Fächern	Verknüpfung nicht nur von verwandten Fächern	Mehr Erfahrung im Schulpraktikum mit füU sammeln	füU im Schulpraktikum
		Lockerung der Trennung der Fächer in Schule und Studium	Methoden für füU lernen	Gestaltung von füU
		Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen an der Universität		

3.3.2 Ergebnisse

3.3.2.1 Die Einstellungskategorien

Die Einstellungskategorien Grundmotivation, Überdisziplinäres Interesse, Einstellung zur Fächertrennung und Wünsche wurden in mehrerer Hinsicht untersucht.

Wie erwartet weisen die Kategorien untereinander hoch signifikante Korrelationen im Bereich zwischen 0,24 und 0,64 auf. Lediglich eine Paarung korreliert nicht miteinander. Dabei handelt es sich um die Grundmotivation und das Überdisziplinären Interesse. Die höchste Korrelation besteht zwischen der Einstellung zur Fachtrennung und den Wünschen. Um diesen Sachverhalt zu veranschaulichen, ist es von Nutzen die Mittelwerte der jeweiligen Ausprägungen zu betrachten.

Wie Abbildung 102 zeigt, ist die Tendenz der vier Einstellungskategorien ähnlich. Während die drei Kategorien Überdisziplinäres Interesse, Einstellung zur Fachtrennung und Wünsche ihr deutliches

Maximum in der sechsten Ausprägung finden, liegt das Maximum der Grundmotivation bei Ausprägung 7. Die Studierenden haben also eine sehr positive Grundmotivation zum Ausdruck gebracht. Auch die anderen Einstellungskategorien wurden positiv bewertet.
Mit einem Mittelwert von 6,51 wurde die Kategorie Grundeinstellung am positivsten bewertet. 97,1% der Studierenden drückten durch die Ausprägung 5, 6 oder 7 eine positive Grundmotivation aus. Nur 5,9% waren unentschieden, während 1,5% der Befragten eine negative Grundmotivation repräsentieren.

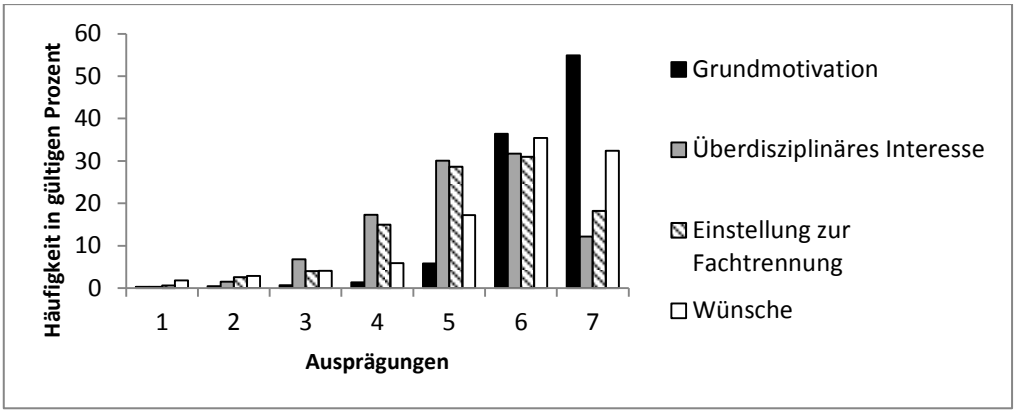


Abb. 102: Mittelwerte der vier Einstellungskategorien bezogen auf sieben Ausprägungen der Datenerhebung. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung.

Die Kategorie Wünsche besitzt den zweithöchsten Mittelwert mit 5,70. 85,3% wählten eine positive Ausprägung (5, 6 oder 7) während sich lediglich 5,9% nicht entscheiden konnten und 8,8% eine negative Einstellung zum Ausdruck brachten. Demnach wünscht sich die Mehrheit der befragten Studierenden mehr über fächerübergreifenden Unterricht zu lernen, mehr mit Studierenden zusammen zu arbeiten, die fächerübergreifend unterrichten wollen, im Schulpraktikum fächerübergreifenden Unterricht durchzuführen und konkrete Methoden zu lernen, um fächerübergreifenden Unterricht zu verwirklichen.
Die Einstellung zur Fachtrennung wird mit einem Mittelwert von 5,34 repräsentiert. 77,8% der befragten Studierenden messen demnach der Verknüpfung der Fächer eine positive Bedeutung zu. Sie finden es für Schülerinnen und Schüler wichtig, dass Schulfächer miteinander in Verbindung gebracht werden, sie erkennen die Relevanz, schon im Studium mit Interdisziplinarität konfrontiert zu werden. Außerdem sprechen sie sich für die Lockerung der Fächerstruktur aus. Während 15% der Befragten unentschieden sind, weisen 7,2% der Studierenden die eben genannten Punkte als irrelevant zurück.
Die Kategorie Überdisziplinäres Interesse liefert einen Mittelwert über alle Ausprägungen von 5,19. Wie in der Abbildung zu erkennen ist, sprachen sich hier am wenigstens Befragten für die höchste Ausprägung aus. Trotzdem beläuft sich der Anteil, der Befragten Studierenden, die eine positive Einstellung zum Ausdruck brachten auf 74%. Dieser Teil der Studierenden interessiert sich für fachfremde Inhalte, tauscht sich gerne mit Studierenden anderer Disziplinen über die Fachinhalte

aus und sieht Parallelen zwischen den eigenen und fremden Fächern. In dieser Kategorie drückten sich 17,3% der Befragten unentschieden aus, was einer nicht zu vernachlässigen Anzahl entspricht. 8,6% der Befragten drückten aus, kein Interesse an anderen Fächern zu haben.

Vergleicht man die vier Kategorien miteinander, so stellt man große Ähnlichkeiten fest. Diese Beobachtung bestätigt die hohen und hoch signifikanten Korrelationen. So lässt sich auch erklären, warum die Kategorie der Grundmotivation nicht mit dem Überdisziplinärem Interesse korreliert. In der Kategorie Grundmotivation ist die siebte Ausprägung die stärkste, während diese Ausprägung in der Kategorie Überdisziplinäres Interesse am schwächsten vertreten ist. Man kann davon ausgehen, dass die befragte Gruppe eine sehr hohe Grundmotivation aufwies, aber dass überdisziplinäres Interesse nicht automatisch mit einer hohen Grundmotivation einhergeht. Oder anders ausgedrückt: Nicht jeder Befragte oder jeder Befragte Studierende, der/die hoch motiviert war, interessierte sich auch gleichzeitig über seine/ihre Fächergrenzen hinweg für andere Inhalte. Überfachliches Interesse kann also nicht als eine Ausprägung von Grundmotivation bezeichnet werden. Die Korrelation der Einstellung zur Fachtrennung und dem Überdisziplinären Interesse war jedoch zu erwarten. Einfach ausgedrückt: Wer sich für weichere Fächergrenzen ausspricht, interessiert sich auch für andere Fachinhalte. Studierende, deren Interesse hingegen ausschließlich im eigenen Fach zu finden ist, favorisieren klar strukturierte Fächergrenzen. Da unter der Kategorie Wünsche deutlich abgefragt wurde, ob sich die Studierenden mehr Austausch und Übungsmöglichkeiten bezüglich fächerübergreifenden Unterrichts wünschen, ist die hohe Korrelation zur Einstellung zur Fachtrennung ebenfalls logisch ersichtlich und entspricht den Erwartungen. Eine Mehrheit der Studierenden wünschte sich mehr interdisziplinäre Möglichkeiten und sprach sich somit auch gegen harte Fächergrenzen aus. Die Wünsche korrelierten jedoch mit einem Wert von 0,26 nur in einem mittleren Bereich mit der Grundmotivation. Studierende, die kein Interesse an fächerübergreifendem Lernen an der Universität haben, können somit trotzdem eine hohe Grundmotivation aufweisen. Dieses Ergebnis entspricht den Beobachtungen: Hoch motivierte Lehrerinnen und Lehrer müssen nicht zwangsläufig fächerübergreifend unterrichten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vier Einstellungskategorien einen guten Einblick darüber zulassen, welche Meinung Studierende bezüglich der Fachtrennung an Universität und Schule haben. Die Kategorie Wünsche erlaubt einen Einblick in das Interesse der Studierenden in Bezug auf fächerübergreifenden Unterricht. Die Mehrheit der Studierenden bekundete ein hohes überdisziplinäres Interesse. Man kann also davon ausgehen, dass ein großer Teil der Studierenden für interdisziplinäres Arbeiten an der Universität und für das Lernen fächerübergreifender Ansätze für die Schule aufgeschlossen ist. Das Ergebnis lässt einen positiven Schluss zu: Es handelt sich um eine hoch motivierte und interdisziplinär aufgeschlossene Gruppe aus allen Fachrichtungen.

3.3.2.2 Vergleich zwischen den Einstellungskategorien und „Interdisziplinarität im Studium“

Die fünfte Kategorie Interdisziplinarität im Studium gibt Aufschluss über mehrere Merkmale des Studiums der Befragten. Abbildung 103 zeigt eine Übersicht über die Verteilung aller vier Items der Kategorie.

Die Häufigkeitsstruktur der fünften Kategorie ist im Vergleich zu den ersten vier Einstellungskategorien deutlich nach links verschoben. Daraus geht hervor, dass den Items tendenziell nicht zugestimmt wurde. Besonders fallen die hohen gültigen Prozente des dritten und vierten Items in dieser Kategorie auf. 43,3% der Befragten gaben an in ihrem Schulpraktikum gar keine Erfahrungen mit fächerübergreifendem Unterricht gemacht zu haben, wählten also den Extremwert 1 auf der Skala. 72,7% der Studierenden äußerten sich negativ dazu, ob sie in ihrem Studium lernen wie man fächerübergreifenden Unterricht durchführen kann, wählten also die Ausprägung 1, 2 oder 3. 14,5% der Befragten stimmten der Frage danach zu, gaben damit also an, dass in ihrem Studium zumindest teilweise die Gestaltungsmöglichkeiten von fächerübergreifendem Unterricht behandelt wurden. Schnittstellen zu anderen Fächern wurden in 51,5% der Fälle nicht offen gelegt. Lediglich 29,3% der Studierenden stimmten der Frage zu, ob in der Hochschullehre Schnittstellen zu anderen Fächern betrachtet würden.

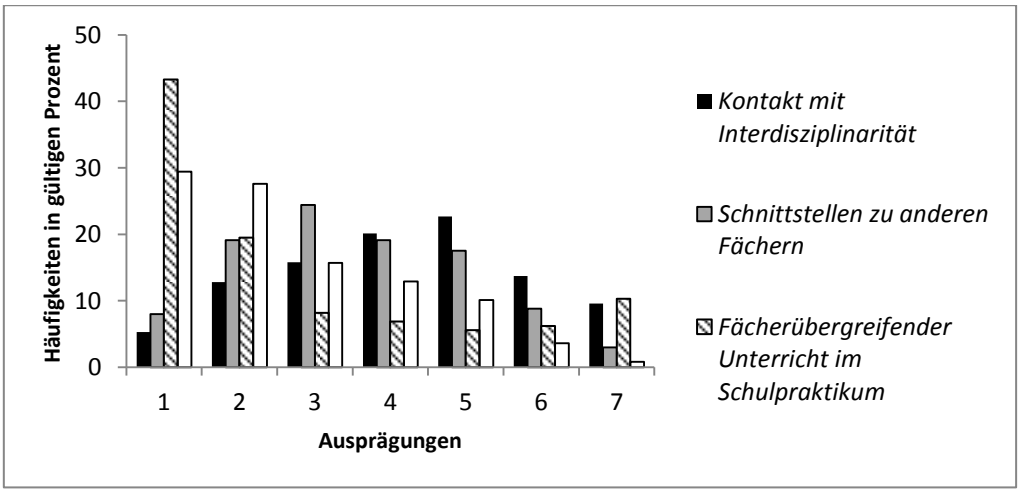


Abb. 103: Mittelwerte der vier Items der Kategorie „Interdisziplinarität im Studium“ bezogen auf sieben Ausprägungen der Datenerhebung. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung.

Die Korrelation der vier Items untereinander fällt wie erwartet gering bis mittel aus (0,47 - 4,87). In dieser Kategorie wurde nicht mit vier Items dieselbe Einstellung abgefragt, sondern Tatsachen, die pro Item eine unterschiedliche Antwort erwarten ließen. Man kann nur geschätzte Aussagen darüber treffen, dass die Kategorie Interdisziplinarität im Studium tendenziell negativer bewertet wurde als die Einstellungskategorien. Anders formuliert bedeutet dies, dass in einer Gruppe von hoch motivierten, interdisziplinär interessierten Studierenden nur eine geringe Anzahl an Befragten in ihrem Studium überhaupt mit interdisziplinären Themen in Berührung kam und dass nur in

seltenen Fällen im Schulpraktikum oder im Studium auf fächerübergreifenden Unterricht vorbereitet wurde.

Von besonderem Interesse ist der Vergleich zwischen der Einstellungskategorie Wünsche und den verschiedenen Items der Kategorie Interdisziplinarität im Studium. Abbildung 104 stellt die beiden Items „Fächerübergreifender Unterricht im Schulpraktikum“ und „Gestaltung von fächerübergreifendem Unterricht“ der Kategorie Wünsche gegenüber.

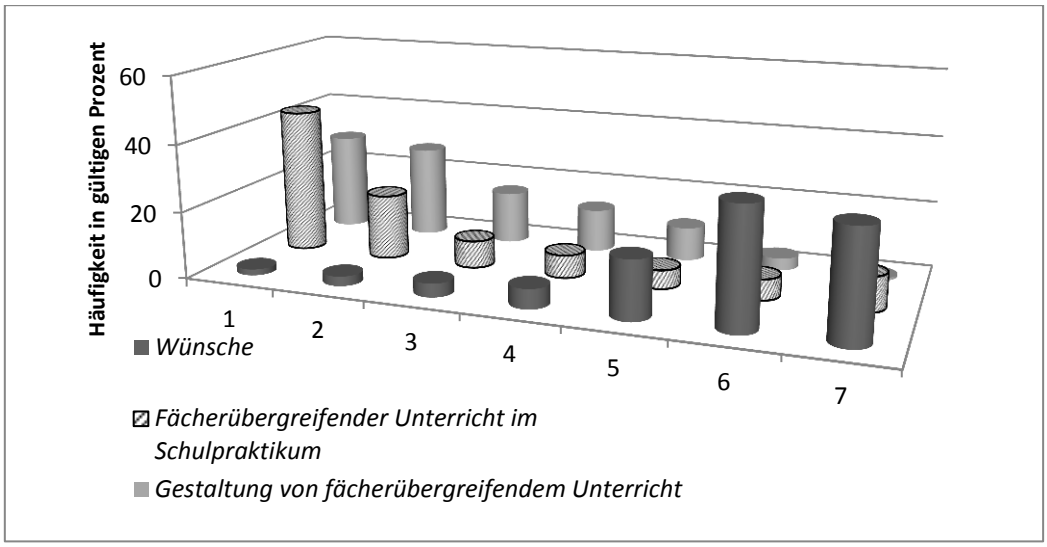


Abb. 104: Vergleich der Kategorie Wünsche mit den beiden Items „Fächerübergreifender Unterricht im Schulpraktikum“ und „Gestaltung von fächerübergreifenden Unterricht“ aus der Kategorie Interdisziplinarität im Studium. Angegeben werden gültige Prozent gegen die Anzahl der Ausprägungen. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung.

Der Unterschied zwischen den Beantwortungsmustern ist deutlich zu erkennen. Die dunklen Zylinder beschreiben die geäußerten Wünsche der Befragten. Wie schon zuvor gezeigt wurde, wurden die entsprechenden Items von den Studierenden überwiegend bejaht. Vergleicht man diese positive Bereitschaft, fächerübergreifende Ansätze zu erlernen mit den Items „Fächerübergreifender Unterricht im Schulpraktikum“ (gestreift) und „Gestaltung von fächerübergreifenden Unterricht“ (hellgrau) so stellt man fest, dass dieser Bereitschaft nicht genüge getan wird. Obwohl sich die Studierenden wünschen, interdisziplinäre Themen und Methoden zu erlernen, wird ihnen dieses Wissen im Studium nicht vermittelt.

Ebenfalls interessant ist der Vergleich der Einstellung zur Fachtrennung und dem Item „Schnittstellen zu anderen Fächern“, das beschreibt, ob Verknüpfungen zu anderen Fächern geschlossen werden. Wie in Abbildung 105 gezeigt, sprach sich die Mehrheit der Befragten gegen die strikte Trennung der Fächer aus. Das Maximum der dunkelgrauen Fläche liegt deutlich rechts und damit im Bereich der Bejahung der Items. Tatsächlich gaben aber die Mehrheit der befragten Studierenden an, dass in ihrem Studium keine Schnittstellen zu anderen Fächern behandelt werden

und damit die Fächer getrennt bleiben. Die Bereitschaft fächerübergreifend zu lernen scheint also gegeben, wird aber nicht optimal ausgenutzt.

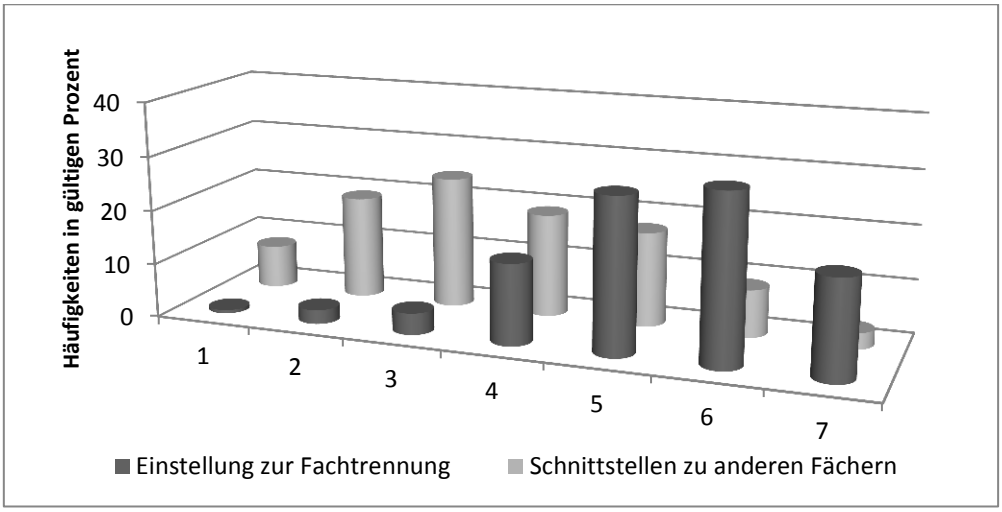


Abb. 105: Vergleich der Kategorie Einstellung zur Fachtrennung mit dem Item „Schnittstellen zu anderen Fächern" aus der Kategorie Interdisziplinarität im Studium. Angegeben werden gültige Prozent gegen die Anzahl der Ausprägungen. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Einstellungen und Wünsche der Studierenden nicht mit den Gegebenheiten übereinstimmen, die sie an der Universität vorfinden. Wie schon erwähnt, gibt die Befragung eine zustimmende Haltung der Studierenden zu Interdisziplinarität und fächerübergreifenden Ansätzen wieder. An der Universität scheinen sie jedoch nur marginal mit dem hierfür erforderlichen „Handwerkszeug" ausgestattet zu werden. Das Potential, das die Einstellung der Studierenden wiedergibt, wird nicht optimal genutzt. Die strikte Fachtrennung an den Universitäten äußert sich vor allem in den Lehramtsstudiengängen insofern, als dass die Studierenden nicht einem Fachbereich angehören, sondern an mehreren Fachbereichen lernen. Dazu zählen in der Regel zwei Fächer (oft aus unterschiedlichen Fachbereichen) und der Bereich der Grundwissenschaften zur pädagogischen Ausbildung gleichermaßen. Diese Tatsache könnte aber als Vorteil für einen interdisziplinären Ansatz in der Lehrerausbildung gesehen werden. In der Realität verlieren die Studierenden des Lehramts so eine Zugehörigkeit zu einem Fachbereich (da sie keine primäre Zugehörigkeit haben). Das Studium gestaltet sich sehr heterogen. Dadurch, dass es keinen einheitlichen Kanon gibt, der zwischen den Disziplinen vereinbart ist, entsteht die Gefahr, dass die Inhalte in Hinsicht auf Interdisziplinarität beliebig werden.[160] Das jeweils einzelne Fach darf nicht nur disziplinenlogisch, sondern muss auch pädagogisch sinnvoll vermittelt werden.[3]

Es hat natürlich mehrere Gründe, warum an der Universität in den meisten Fällen nicht interdisziplinär unterrichtet wird:

Zum einen ist positiv anzumerken, dass die Fachtrennung der Stoffreduktion und der Expertise dient. Das heißt, dass die Studierenden von den Expertinnen und Experten auf einem Fachgebiet ein bestimmtes Thema erlernen. Aber sind diese Disziplinen wie wir sie heute kennen so noch schlüssig? Der historische Entwicklungsprozess der Disziplinen diente der Ordnung von Wissen nach Problemfeldern. Das Wissen wurde so gebündelt, dass es zur Lösung realer Probleme dienen konnte (vgl. Kapitel 1). Heute werden allerdings andere Fragen gestellt und oftmals müssen neue Problem gelöst werden. In der Realität zeigt sich, dass zum Lösen von heutigen Problemen nicht immer nur eine der herkömmlichen Disziplinen ausreicht. Mit Hinsicht darauf stellt sich die Frage, ob die Sortierung des Wissens in Disziplinen noch dieselbe Gültigkeit hat, wie sie es zur Zeit der wissenschaftlichen Revolution hatte. Natürlich soll nicht abgestritten werden, dass die Struktur der Sortierung des Wissens in die verschiedenen Disziplinen durchaus sinnvoll ist. Aber dient sie auch dem beabsichtigten „Produkt"? Das, was Lernende heute nach ihrer Ausbildung (ob in der Schule oder an der Universität) können sollen, drückt sich in Schlüsselqualifikationen, Kompetenzen und Standards aus. Der Inhalt (der sich durch das gesammelte Wissen ausdrückt) ist aber nicht nach diesen Modellen sortiert, sondern ausschließlich nach inhaltlicher Zugehörigkeit.

Zum anderen sind verschiedene universitäre Strukturen bei der Umsetzung von interdizsiplinären Aspekten hinderlich. Dazu zählt die geringe Kommunikation zwischen den Fachbereichen, die im Lehralltag auch nur schwer verbessert werden kann. Ein weiteres Hindernis ist der straffe Zeitplan und das hohe Arbeitspensum der modularisierten Studiengänge, die kaum Freiraum für kreatives und überfachliches Arbeiten lassen. Es stellt sich die Frage, ob die Studierenden so den Kompetenzanforderungen entsprechend ausgebildet werden. Es ist erfreulich, dass sich die Studierenden mehr Interdisziplinarität wünschen, aber sind demensprechende Ansätze notwendig, um Kompetenzen zu vermitteln, die über den Fachinhalt hinausgehen und auf lange Sicht den zukünftigen Lehrerinnen und Lehrern wirklich von Nutzen sind? Wie eingangs erwähnt, stellt das Kompetenzprofil, das an Schülerinnen und Schüler gestellt wird, eine hohe Anforderung an jede einzelne Lehrperson. Überfachliche Kompetenzen sind dabei bei Schülerinnen und Schülern nur dann zu generieren, wenn überfachliche Ansätze auch verwirklicht werden. Der qualitative Sprung zwischen dem verwirklichen „Wollen" und dem verwirklichen „Können" ist dabei besonders groß. Je mehr zukünftige Lehrerinnen und Lehrer lernen wie fächerübergreifende Ansätze in der Schule verwirklicht werden könnten, desto eher werden sie dieses Wissen auch eigenverantwortlich in ihrem späteren Beruf umsetzen. Nicht selten erfolgt die Identifikation eines Lehrers oder einer Lehrerin mit seinem/ihrem Beruf über die Fächer.[4] Lehrerinnen und Lehrer fühlen sich als „Fachlehrerinnen", was nicht zuletzt auf ihre Ausbildung zurück zu führen ist und natürlich auch der Expertise dient. Darüber hinaus haben Lehrerinnen und Lehrer nicht nur den Auftrag der Wissensvermittlung, sondern auch einen Bildungs- und Erziehungsauftrag. Nicht zuletzt dient deshalb interdisziplinäres Lehren in der LehrerInnenausbildung an der Universität auch dem Selbstverständnis von Bildung, das auch in der Schule zu vermitteln ist: Immerhin sollen weder aus der Universität noch aus der Schule ausschließlich fachfokussierte Eigendenker hervorgehen, sondern gebildete Menschen.

3.3.2.3 Vergleich der Kategorien mit der Fächerkombination und dem studierten Lehramt

Um einen Einblick darin zu erhalten, welchen Einfluss die Fächerkombination und das Lehramt (L1-5) auf die Einstellungsvariablen und die Interdisziplinarität im Studium haben, wurden die Mittelwerte entsprechend verglichen.

Der Vergleich zwischen den verschiedenen möglichen Fächerkombinationen (zwei Naturwissenschaften, zwei Geisteswissenschaften und gemischte Kombinationen) ergab keine signifikanten Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen. Die Studierenden der drei verschiedenen Gruppen äußerten sich ähnlich in den Kategorien der Einstellung, drückten also ähnliche Beliefs aus. Auch in Hinsicht auf die Kategorie Interdisziplinarität im Studium wurden die Items unabhängig von der Fächerkombination beantwortet. Es konnte kein Unterschied zwischen den verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten festgestellt werden. Das weist darauf hin, dass die Studierenden unabhängig vom Fach Meinungen und Einstellungen zum Thema Interdisziplinarität in der Ausbildung und entsprechende Wünsche äußern. Außerdem wird unabhängig vom Fach die interdisziplinäre Ausbildung an der Universität ähnlich eingeschätzt.

Beim Vergleich zwischen den Kategorien und den verschiedenen Lehrämtern fielen jedoch signifikante Unterschiede auf. Abbildung 106 fasst die relevanten Kombinationen der Einstellungskategorien zusammen.

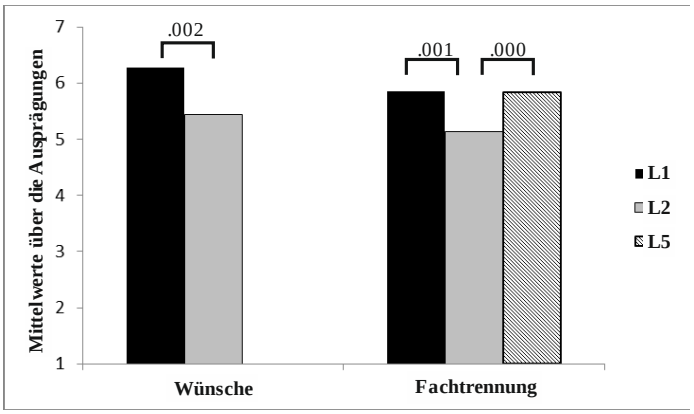


Abb. 106: Mittelwertvergleich zwischen verschiedenen Studiengängen in den Kategorien Wünsche und Fachtrennung mit Angaben der Signifikanzen.

In zwei Einstellungskategorien war ein signifikanter Mittelwertunterschied zu beobachten. Mit einem Mittelwert von 6,28 (auf der Skala von 1 bis 7) äußerten die Studierenden des Grundschullehramts (L1) deutlich häufiger bejahende Wünsche bezüglich interdisziplinärem Lernen im Vergleich zu Studierenden für Gymnasiallehramt (L3) mit einem Mittelwert von 5,44. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Vergleich der Mittelwerte der Kategorie Einstellung zur Fachtrennung (Fachtrennung). Studierende des Grundschullehramts liegen mit einem Mittelwert von 5,85 gleich

mit den Studierenden des Förderschullehramts (L5) mit einem Mittelwert von 5,84. Beide unterscheiden sich signifikant von den Studierenden des Gymnasiallehramts, die mit einem Mittelwert von 5,14 die Fachtrennung weniger kritisch bewerteten als die beiden anderen Gruppen. Diese Ergebnisse lassen sich auf Itemebene wie folgt aufschlüsseln.

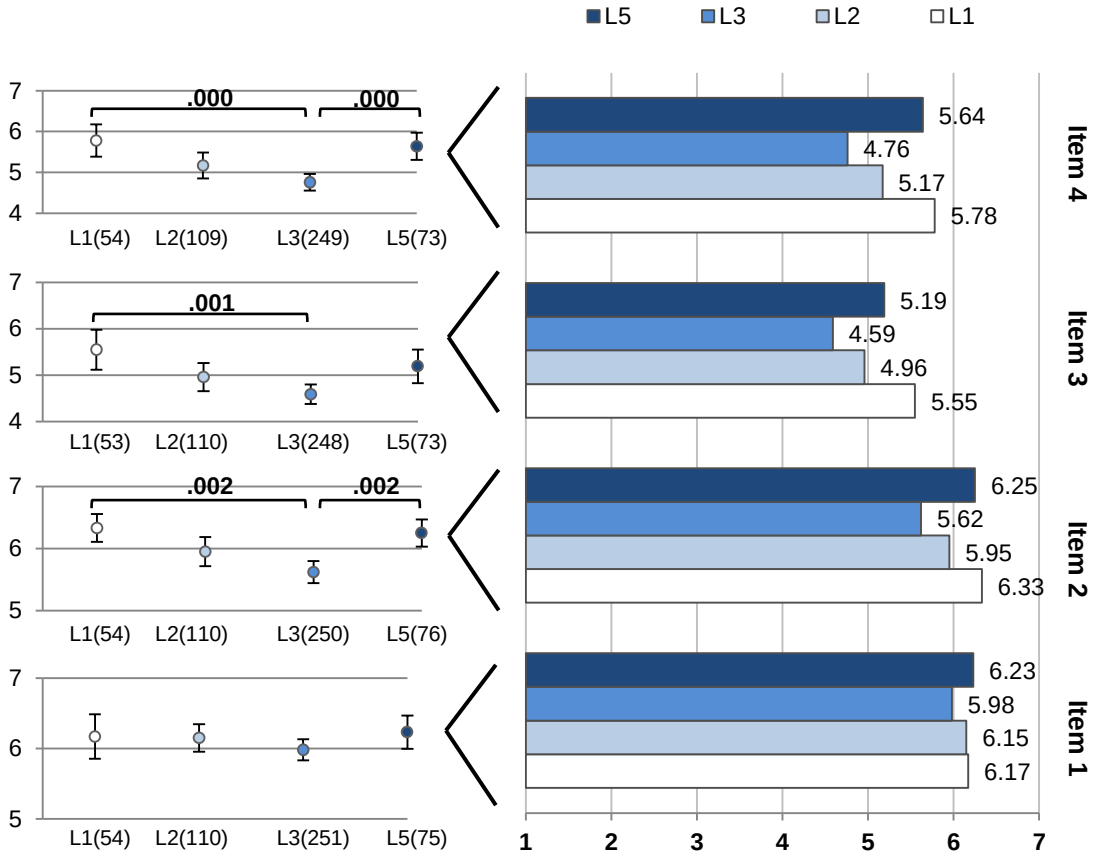


Abb. 107: Darstellung der vier Items der Kategorie "Fächertrennung".

Die Abbildung zeigt die Darstellung jedes einzelnen Items aus der Kategorie Fächertrennung (vgl. Tabelle 9). Die Mittelwerte beziehen sich auf eine siebenstufige Skala. Dabei meint 1 „ich stimme überhaupt nicht zu" und 7 „ich stimme voll und ganz zu". Die Abbildung zeigt auf der linken Seite die Mittelwerte mit Konfidenzintervallen und signifikanten Mittelwertunterschieden. In Klammern ist die Teilnehmeranzahl bezogen auf das Studierte Lehramt angegeben. Signifikante Mittelwertunterschiede werden also auch auf Itemebene vor allem zwischen Studierenden des gymnasialen Lehramts und Studierenden des Grundschul- oder Förderschullehramts beobachtet. Item 1 ergab keinen signifikanten Mittelwertunterschied zwischen den verschiedenen Lehrämtern.

Ebenso kann die Kategorie „Wünsche" wie folgt aufgeschlüsselt werden. Die Abbildung zeigt die Darstellung jedes einzelnen Items aus der Kategorie Wünsche (vgl. Tabelle 9). Die Mittelwerte beziehen sich auf eine siebenstufige Skala. Dabei meint 1 „ich stimme überhaupt nicht zu" und 7 „ich stimme voll und ganz zu". Die Abbildung zeigt auf der linken Seite die Mittelwerte mit Konfidenzintervallen und signifikanten Mittelwertunterschieden. In Klammern ist die

Teilnehmeranzahl bezogen auf das Studierte Lehramt angegeben. Die Studierenden des Grundschullehramts äußerten so, dass sie mehr über Interdisziplinarität lernen wollen, mehr Erfahrungen sammeln möchten und gerne praktisches Training in Anspruch nehmen würden. Die Studierenden des Gymnasiallehramts antworteten in einem sehr schmalen Bereich, wie die Konfidenzintervalle zeigen. Vor allem in Item 1 antworteten die Studierenden des Haupt- und Realschullehramts eher vergleichbar mit Studierenden des Grundschullehramts, während diese Gruppe sonst eher mit Studierenden des Gymnasiallehramts zu vergleichen ist.

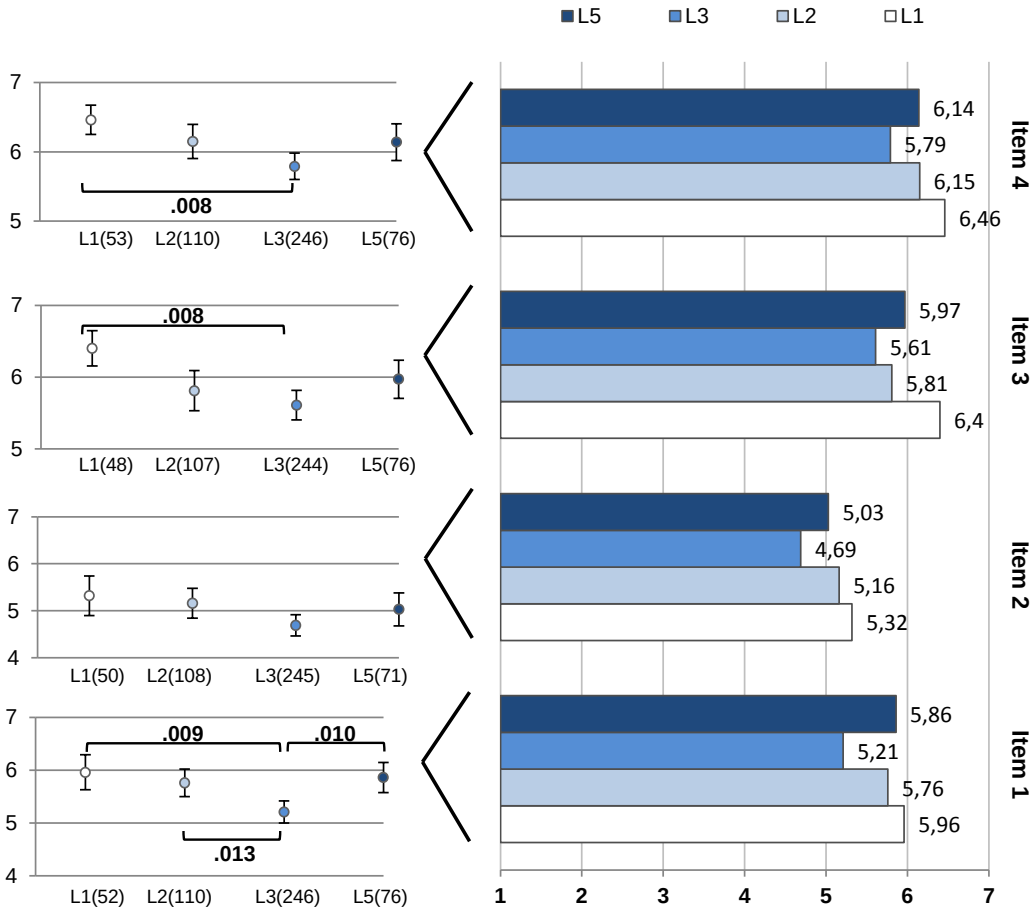


Abb. 108: Darstellung der vier Items der Kategorie "Wünsche"

Auch in Hinsicht auf die Items der Kategorie Interdisziplinarität im Studium unterschieden sich die Mittelwerte der Grundschullehramtstudierenden deutlich von den anderen Lehrämtern wie Abbildung 109 zeigt. Die Mittelwerte der Grundschullehramtsstudierenden liegen mit 4,78, 4,14 und 3,47 bei allen drei Items am höchsten. Daraus ergeben sich signifikante Unterschiede zu den anderen Lehrämtern, wohingegen sich die Antworten der Studierenden der anderen Lehrämter untereinander nicht signifikant unterscheiden. Die zukünftigen Grundschullehrerinnen und Grundschullehrer erfahren in ihrem Studium demnach den meisten Kontakt mit Interdisziplinarität, bekommen Anknüpfungspunkte zu anderen Fächern näher gebracht und lernen am meisten über

die Gestaltung von fächerübergreifendem Unterricht. Zu beachten ist dabei trotzdem, dass die eben genannten Mittelwerte in einem Bereich liegen, der Unentschiedenheit beziehungsweise Verneinung zu den Items ausdrückt. Die Frage nach dem fächerübergreifenden Unterrichten im Schulpraktikum ergab keine signifikanten Mittelwertunterschiede. Alle Mittelwerte lagen in einem niedrigen Bereich. Es lässt sich daraus schließen, dass die meisten Studierenden unabhängig vom Studiengang keinen fächerübergreifenden Unterricht in ihrem Schulpraktikum umgesetzt haben.

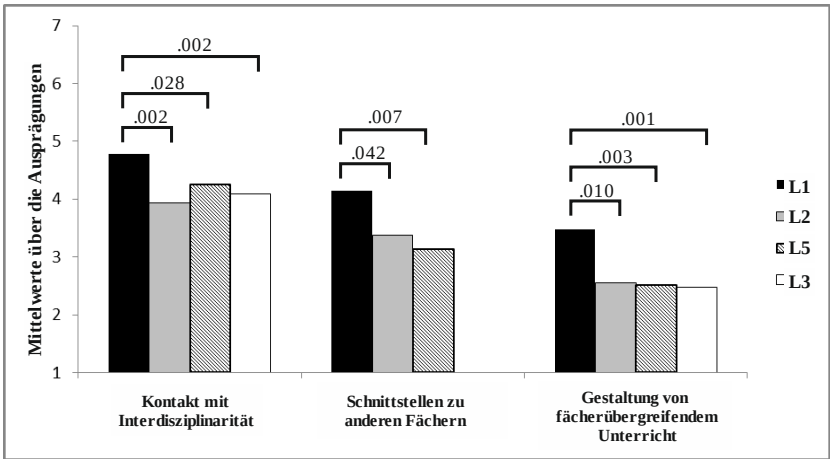


Abb. 109: Mittelwertvergleich zwischen verschiedenen Studiengängen in den Items der Kategorie Interdisziplinarität im Studium mit Angaben der Signifikanzen.

Der größte Unterschied lässt sich wieder zwischen Studierenden des Grundschullehramts und Studierenden des Gymnasiallehramts beobachten, wie die folgende Abbildung verdeutlicht. Auf der y-Achse wird erneut die siebengliedrige Skala angegeben, wobei 1 volle Ablehnung und 7 volle Zustimmung veranschaulicht. Auf der x-Achse ist die Teilnehmerzahl in % angegeben. Die Mittelwerte der Grundschullehramtsstudierenden fallen, wie schon beobachtet höher aus. Dass die Lehramtsstudierenden des Grundschullehramts die höchsten Mittelwerte erreichen, ist realistisch zu deuten. Die zukünftigen Grundschullehrerinnen und Grundschullehrer sind viel weniger abhängig von der gewählten Fächerkombination. Der Unterricht in Grundschulen zeigt auch in der Realität viel häufiger fächerübergreifende Ansätze als es ab der fünften Klasse der Fall ist.

Auch an Förderschulen wird weniger streng fachspezifisch unterrichtet als an Gymnasien, Real- oder Hauptschulen. Das erklärt den ähnlichen Mittelwert betreffend der Einstellung zur Fachtrennung. Auch aus der universitären Lehre ist die stärker fächerübergreifende Struktur des Grundschullehramtsstudiengangs bekannt. Naturwissenschaften werden hier zum Beispiel nicht in einzelnen Fächern unterrichtet, sondern als ein Fach. Die Evaluation bildet also ab, was aus der Praxis und auch aus der universitären Lehre bekannt ist.

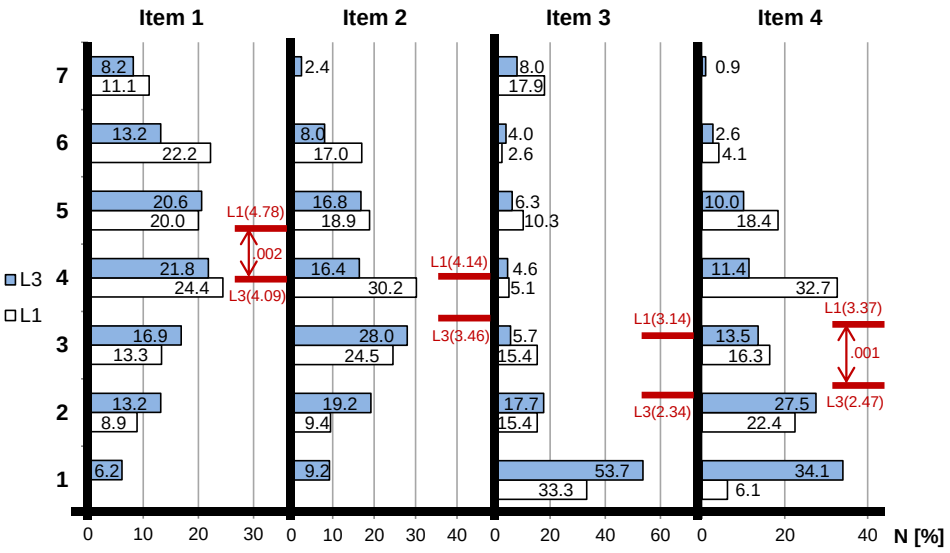


Abb. 110: Vergleich der L1 und L3 Studierenden in der Kategorie "Interdisziplinarität im Studium".

3.3.2.4 Betrachtung der Chemiestudierenden

An der Evaluation nahmen Lehramtsstudierende verschiedener Fächer teil, darunter auch Studierende des Fachs Chemie. Die Berechnungen wurden wiederholt und ein zweites Mal nur für Studierende der Chemie durchgeführt. Aus der Gesamtheit gaben 23 Studentinnen und Studenten an Chemie als erstes oder zweites Fach zu studieren. Die Einstellungskategorien ergaben im Vergleich zu der Untersuchung der Gesamtheit ein ähnliches Muster. 95,4% der Studierenden gaben durch Ankreuzen der Ausprägung 5, 6 oder 7 eine positive Grundmotivation an. Nur 4,3% äußerten, dass sie nicht an überdisziplinären Themen interessiert sind, 4,5% bejahten die Fächertrennung. Zudem drückten 86,4% Wünsche für mehr Interdisziplinarität im Studium aus. Diese Häufigkeiten lassen sich gut mit denen der Gesamtheit vergleichen. Es konnte in den Einstellungskategorien kein signifikanter Mittelwertunterschied zwischen den Chemiestudierenden und der Gesamtheit festgestellt werden.

Auch das nach links geshiftet Muster der Kategorie Interdisziplinarität im Studium im Vergleich zu den Einstellungskategorien findet sich bei den Chemiestudierenden wieder.

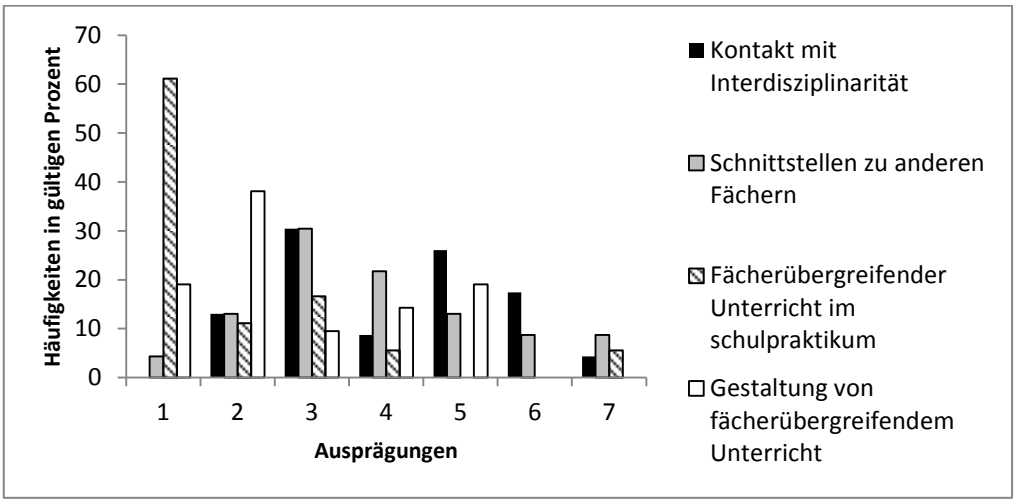


Abb. 111: Mittelwerte der vier Items der Kategorie „Interdisziplinarität im Studium" bezogen auf sieben Ausprägungen der Datenerhebung bezogen auf die Gruppe der Chemiestudierenden. 1 kennzeichnet keine Zustimmung, 7 kennzeichnet eine vollständige Zustimmung.

Der Kontakt mit Interdisziplinarität ist mit einem Maximum bei der Ausprägung 3, also bei einer geringen Ablehnung noch recht regelmäßig verteilt. Besonders hervor sticht das hohe Maximum von 43,3% bei der Beantwortung des Items „Fächerübergreifender Unterricht im Schulpraktikum". Ebenso äußerten 72,7% der Befragten nicht zu lernen wie man fächerübergreifenden Unterricht gestaltet. Auch bei dieser Kategorie ließen sich keine signifikanten Mittelwertunterschiede zur Gesamtheit feststellen.
Da sich die Gruppe der Chemiker nicht von der Gesamtheit unterscheidet, kann man davon ausgehen, dass die Ergebnisse auch für andere befragte Fächer repräsentativ sind.

3.3.2.5 Schlussfolgerungen

Durch die Befragung von Lehramtsstudierenden an der Justus-Liebig-Universität Gießen können mehrere Ergebnisse formuliert werden.

a. Die Studierenden haben eine positive Einstellung zu Interdisziplinarität und sind motiviert Ansätze für fächerübergreifendes Unterrichten zu erlernen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Einstellungskategorien liefern positive Beliefs. Die Häufigkeiten der genannten Kategorien ließen deutlich auf eine zur Bejahung hin verschobene Antwortstruktur erkennen. Die Mittelwerte unterstützen dies.

b. Die Studierenden erleben in ihrem Studium wenig bis gar keine Anleitung zum fächerübergreifenden Unterrichten.

Durch die Abfrage der tatsächlichen Umstände an der Universität wurde klar, dass die Lehramtsstudierenden im Schulpraktikum ihres Studiums nur in wenigen Fällen mit Aspekten

fächerübergreifenden Unterrichts konfrontiert werden und dass sie auch nur selten erlernen, wie man fächerübergreifenden Unterricht verwirklichen kann.

c. Die Wünsche und Beliefs der Studierenden unterschieden sich maßgeblich von den tatsächlichen Gegebenheiten an der Universität.

Durch den Vergleich der Einstellungskategorien mit der Kategorie Interdisziplinarität im Studium konnte gezeigt werden, dass die Einführung von interdisziplinären Ansätzen in der Lehrerausbildung viel Potential hat und von Seiten der Studierenden erwünscht wäre. Zur Zeit wird aber nicht den Wünschen der Studierenden entsprochen, es gibt eine deutliche Lücke zum „Ist-Zustand".

d. Die Fächerkombination hat keinen Einfluss auf die Beliefs und die Interdisziplinarität im Studium.

Der Vergleich mit den Fächerkombinationen ergab keine signifikanten Mittelwertunterschiede. Es ist demnach sekundär, ob die Studierenden Geistes- oder Naturwissenschaften studieren.

e. Die Lehramtsstudierenden des Grundschullehramts unterschieden sich von denen der anderen Lehrämter.

Die Lehramtsstudierenden des Grundschullehramts äußerten sich in der Regel positiver zu den Einstellungskategorien und auch in der Kategorie Interdisziplinarität im Studium, was vermutlich auf die zu anderen Lehramtsstudiengängen verschiedene Struktur ihres Studiums zurück zu führen ist. Es wurden signifikante Mittelwertunterschiede festgestellt, die wiederspiegeln, dass sich sowohl das Grundschullehramtsstudium als auch die Tätigkeit als Grundschullehrkraft von den anderen Lehrämtern unterscheidet.

f. Einzelne Gruppen innerhalb der Gesamtheit spiegeln die Gesamtheit wieder.

Durch die Betrachtung der Chemiestudierenden wurde erwiesen, dass Häufigkeiten und Mittelwerte die Gesamtheit repräsentieren. Deshalb kann von dem vorgestellten Gesamtergebnis auf einzelne Fächergruppen geschlossen werden. Diese These unterstützt die ähnlichen Mittelwerte, die unabhängig von der Fächerkombination festgestellt wurden.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass es eine Menge auszuschöpfendes Potential gibt, dass von Seiten der universitären Lehre auszufüllen bleibt. Die Studierenden signalisieren eine Bereitschaft zum interdisziplinären Lernen. Gerade in Hinsicht auf die spätere Tätigkeit der Lehrerinnen und Lehrer wird es immer wichtiger fächerübergreifende Kompetenzen schon an der Hochschule zu vermitteln. Zusätzlich zu einer positiven interdisziplinären Grundhaltung, die im Schulalltag vor allem für die Schülerinnen und den Schüler von Vorteil ist, benötigen die Lehramtsstudierenden zudem auch didaktisch-methodisches

Handwerkszeug und verwendbare Erfahrung im Schulpraktikum um später selbstgesteuert fächerübergreifenden Unterricht zu verwirklichen. Um zu überprüfen, wie viel von der hohen interdisziplinären Motivation der Studierenden tatsächlich später in der Schule ankommt, muss der Ausbildungsteil im Studienseminar genauer untersucht werden, in der sie die Möglichkeit haben fächerübergreifende Kompetenzen zu erlernen. Von den Schulen und der Bildungspolitik wird fächerübergreifendes Lehren immer häufiger verlangt und auch in der Forschung steht dieses Thema im Vordergrund, was der Lehre an der Universität dazu verhelfen sollte, interdisziplinäre Ansätze auch in der Lehramtsausbildung zu verwirklichen.

Die Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler aus ihrer schulischen Laufbahn mitnehmen, werden stark von den Kompetenzen der Lehrerinnen und Lehrer geprägt, welche diese aus der Universität mitbringen. Dazu zählen sowohl Fachwissen als auch überfachliche Kompetenzen. Es kann demnach nicht Ziel von fächerübergreifendem Unterricht sein den Fachunterricht zu ersetzen. Fächerübergreifender Unterricht ist zunächst nur als ein interdisziplinärer Ansatz im bestehenden Schulsystem zu verwirklichen. Transdisziplinäre Modelle hingegen fordern eine neue Strukturierung des Schulsystems. Dabei ist es gerade die Stärke von interdisziplinärem, fächerübergreifendem Unterricht auch die Grenze der Disziplin selbst in den Blick zu bekommen und darüber zu reflektieren.[4] Das heißt, es geht um divergente Ansätze, die nicht nur eine neue Sicht auf Unterricht erfordern, sondern auch eine Anfrage an die Kultur Hochschule ist.[3] Um die Lehramtsstudierenden adäquat auf ihre Aufgabe als Lehrerinnen und Lehrer vorzubereiten, müssen die ausbildenden Mitarbeiter der Universität schon vorher ihre eigene Expertise in einem breiteren Kontext betrachtet haben. Es braucht zum interdisziplinären Lehren keine separierte und zusätzliche Lehrveranstaltung, sondern es handelt sich um eine neue Sicht auf das Jetzige.

3.4 Empirische Erhebung unter Doktorandinnen und Doktoranden

3.4.1 Forschungsfrage, Fragebogenkonzeption, Erhebungsmethode

Die Erhebung unter Doktorandinnen und Doktoranden an der Justus-Liebig Universität Gießen wurde über alle Fachbereiche hinweg als Online Umfrage durchgeführt. Erhoben wurden neben personenbezogenen Daten die Doktorarbeit betreffend Meinungen zum Thema Interdisziplinarität in Forschung und Lehre. Ziel der Erhebung war es, einen tieferen Einblick in die Struktur von fachübergreifenden Forschungsfragen zu gewinnen. Ebenso wurde die Relevanz von Interdisziplinarität in der Lehre abgefragt.

Der Fragebogen wurde in Englischer Sprache konzipiert, um auch nicht deutschsprachigen Promotionsstudierenden die Teilnahme zu ermöglichen. Erreicht wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit Hilfe der Graduiertenkollegien sowie über den Universitätsverteiler. Die Gesamtzahl

der Teilnehmer beläuft sich auf 270. Der erste Teil des Fragebogens setzt sich aus personenbezogenen Daten zusammen. Abgefragt wurde Folgendes:

- Geschlecht
- Alter
- Fachbereich, in dem die Promotionsschrift angefertigt wird und dazugehöriges Institut
- Mitgliedschaft in eine Graduiertenkolleg (GGK, GGL oder GCSC) der Justus-Liebig-Universität Gießen
- Finanzierung der Doktorarbeit
- Anzahl der bisher zur Doktorarbeit verwendeten Jahre
- Muttersprache

Anschließend wurden die Doktorandinnen und Doktoranden gebeten, sich selbst in NaturwissenschaftlerInnen oder GeisteswissenschaftlerInnen einzuteilen. Es wurde bewusst darauf verzichtet diese Einteilung anhand der Fächer vorzunehmen. Ebenfalls gab es die Möglichkeit sich in keine der beiden Kategorien einzuteilen.

In Hinsicht auf die Promotionsarbeit wurde im Bereich *Research Aims* abgefragt, welche wissenschaftlichen Ziele die Doktorandinnen und Doktoranden mit Ihrer Arbeit verfolgen. Im Folgenden werden die Fragen wiedergegeben, wie sie auch im Fragebogen zu finden sind:

- I will consider my research project a success if I was able to make a contribution to the relevant professional discourse.
- My research is primary based on data (e.g. measurement data, experimental data, other empirical data).
- One primary aim of my research project is to develop original thoughts, i.e. ideas which few people have come up with before.
- My research project aims at developing new theories.
- My research project has application potential and is not just theoretical.
- The results of my research will only be relevant to a certain circle of scholars, but not the general public.
- I personally selected my dissertation topic and am personally responsible for the development of the research question(s).

Besonders interessant ist in diesem Bereich die Beobachtung des Antwortverhaltens separiert zwischen denjenigen Promotionsstudierenden die sich als NaturwissenschaftlerInnen bzw. GeisteswissenschaftlerInnen einkassierten. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer hatten die Möglichkeit auf die Fragen mit „Ja“ oder „Nein“ zu antworten bzw. anzugeben, dass keine Aussage möglich ist (no statement possible).

Im Bereich *Concept of Interdisciplinarity* wurde erhoben, was die Promotionsstudierenden unter Interdisziplinarität verstehen. Dabei wurde unterschieden zwischen Kooperationen zwischen den Fachgebieten der Naturwissenschaft und der Geisteswissenschaft, Kooperation zwischen Fächern innerhalb von Natur- oder Geisteswissenschaft sowie zwischen Kooperationen zwischen

Fachgebieten innerhalb eines Faches. Die dahinterstehende Frage ist, ab wann von Interdisziplinarität gesprochen werden kann. Während im wissenschaftstheoretischen Diskurs beispielsweise zwischen Interdisziplinarität und Intradisziplinarität unterschieden wird, spielt Interdisziplinarität als Schlagwort in der Praxis kaum eine Rolle. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die aktive Forschung das Wort Interdisziplinarität anders verwendet, als es wissenschaftstheoretisch diskutiert wird (vgl. Kapitel XY). Hier wurde eine fünfstufige, vollverbalisierte Skala mit den Ausprägungen *strongly agree*, *agree*, *undecided*, *disagree* und *strongly disagree* verwendet. Den Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurde so die Möglichkeit gegeben, eine unentschiedene Meinung zu äußer, was bei der Auswertung besondere Berücksichtigung findet. Auch hier war es möglich *keine mögliche Aussage* anzugeben.

Anschließend an diesen Frageblock *The purpose of interdisciplinarity in Research* wurde der Sinn von Interdisziplinarität aus Sicht der Doktorandinnen und Doktoranden für deren Forschung erfragt. Wie zuvor wurde eine fünfstufige, vollverbalisierte Skala verwendet. In vier Items wurden verschiedene Einstellungswerte abgefragt. Wie folgt sind die Fragen im Bogen zu finden:

- Interdisciplinarity improves the quality of research.
- Interdsciplinarity work helps me to discover new perspectives which enhance my own research.
- For me, one important reason for interdisciplinarity work is the fact that it is more prestigious and brings along the opportunity to publish in more influential and established academic journals.
- Interdisciplinarity is a positive and exiting challenge for me.

Dabei wurde wiederum besonderen Wert auf eventuelle Differenzen zwischen NaturwissenschaftlerInnen und GeisteswissenschaftlerInnen gelegt. Es wird zugrunde gelegt, dass es möglich ist, dass Gründe für interdisziplinäre Arbeiten über Disziplinen hinweg durchaus verschieden sein können. Abhängig vom Fachgebiet machen interdisziplinäre Arbeiten eventuelle auch mehr oder weniger Sinn.

Um genauer zu erfassen, welche Fachbereiche miteinander in Verbindung stehen, wurden verschiedene Kooperationen erhoben. Dabei wurden die NaturwissenschaftlerInnen gefragt, ob Kooperationen innerhalb der Naturwissenschaften oder mit Fächern der Geisteswissenschaften bestehen. In umgekehrter Weise wurde mit den GeisteswissenschaftlerInnen verfahren. Besonderer Wert wurde auf die drei Ebenen *scholars*, *matters* und *methodes* gelegt, das heißt, es wurde differenziert, ob sich die Verknüpfung auf die Methode oder Inhalte eines anderen Fachs beziehen, bzw. ob eine tatsächliche Arbeitsgemeinschaft zu Wissenschaftlerinnen oder Wissenschaftlern eines anderen Fachs besteht. An dieser Stelle kann vorweg genommen werden, dass sich eine zu geringe Anzahl an Teilnehmerinnen und Teilnehmern (3 Personen) in keine der beiden Bereiche (Naturwissenschaften oder Geisteswissenschaften) eingeteilt hat und dass somit der Vergleich mit dieser Gruppe aus logischen Gründen wegfällt. Wie erwartet waren die meisten der Promotionsstudierenden in der Lage sich einem der großen Felder zuzuordnen. Alle Vergleiche

zwischen den verschiedenen TeilnehmerInnengruppen beziehen sich also entweder auf NaturwissenschaftlerInnen oder GeisteswissenschaftlerInnen.

Als separater Teil wurde der Bezug zur Lehre an der Universität hergestellt. Die Frage, ob die Promotionsstudierenden an der Universität unterrichten, teilte die Gruppe auf. Für diejenigen, die hier mit Nein antworteten, war die Bearbeitung des Fragebogens beendet. Alle anderen wurden genauer zu ihren Lehrtätigkeiten befragt. Das bedeutet, dass erhoben wurde, welche Art von Lehrveranstaltungen sie betreuen (Seminar, Vorlesung, Übung oder Praktikum). Alle Angaben wurden auf das vergangene Sommersemester 2012 bezogen. Anschließend wurde die Zeit erhoben, welche die Doktorandinnen und Doktoranden zum Vorbereiten und halten der Lehrveranstaltung investieren. Ein weiterer Frageblock erhob die Einstellung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu Lehre allgemein. Dabei war eine Mehrfachnennung möglich. Aus acht Antworten auf die Frage „*What ist he significance of teaching for you*“ konnten die Doktorandinnen und Doktoranden vier der Lehre positiv gegenüberstehendende und vier negative Positionen Auswählen. Anschließend wurden die Promotionsstudierenden gebeten, sich auf einer sechstufigen Skala zwischen zwei extremen Positionen einzuordnen. Hier wurden zwei Frageblöcke generiert. Der erste Block bezieht sich allgemein auf die Einstellung zur Lehre, der zweite auf den Sinn von Interdisziplinarität in der universitären Lehre. Durch die sechstufige Skala wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gezwungen eine Position zu beziehen, da sie keine unentschiedene Meinung ausdrücken konnten. Folgende Tabelle stellt die Positionen dar:

Tab. 10: Frageblöcke zum Thema Lehre und Interdisziplinarität in der Lehre

Frageblock Lehre allgemein	
Extremposition 1	***Extremposition 2***
The quality of my teaching is very important to me.	The quality of my teaching does not matter to me at all.
I like teaching.	I don't like teaching at all.
I am responsible myself for selecting the contents of my classes.	The contents of my classes are determined by a fixed curriculum or by other people.
I consider myself a very good teacher.	I consider myself a weak teacher.
The most important thing about teaching is that the students learn something.	The most important thing about teaching is that I can quickly work through the items on my syllabus.
It is my responsibility that the students learn something in my class.	Whether the students in my class learn something or not is completely up to them: They are responsible for their own learning.
In good seminars it is the students who speak most during class.	In good seminars the instructor gives as much input as possible.
I received teacher training during my studies and/or have attended teacher training courses	I have not received any teacher training.

afterwards.	
I prepare my classes very thoroughly.	I do not prepare my classes.
If the type of class generally allows it, it is efficient to alternate between different social forms (group work, partner work, etc.) when teaching.	Teacher-centered teaching ('talk and chalk style') is always the best option, i.e. when there is lecture-style instruction and the students take notes and possibly ask questions.

Frageblock Lehre und Interdisziplinarität	
Extremposition 1	***Extremposition 2***
When possible I try to integrate contents of other subjects (e.g. mathematics, history, theology, environmental management) into my classes.	In my classes I exclusively discuss topics related to my own subject.
In my classes it is important to me to establish links to other subjects.	In my classes it is not important to me to establish links to other subjects.
It is important to me that the students learn to place a certain topic within its wider scientific context.	As long as the students understand the contents of their own subject, it is irrelevant whether or not they can place them within a wider scientific context.
Interdisciplinary teaching is important for the academic training of the students.	Interdisciplinary teaching is irrelevant for the academic training of the students.
I try to reduce the reservations my students may have against other subjects.	What my students think about other subjects is irrelevant to me.
Interdisciplinarity in teaching is first and foremost beneficial.	Interdisciplinarity in teaching has primarily disadvantages.

Abgesehen von den Fragen zum Ankreuzen, wurden in jedem Bereich offene Felder eingebaut, die es die Teilnehmerinnen und Teilnehmern ermöglichen sollten, ihre Meinungen zu erläutern. In den Fällen, in denen interessante Ergebnisse in den freien Antwortfeldern beobachtet wurden, wird in der Auswertung hingewiesen. Die offenen Fragen konnten auf Deutsch und auf Englisch beantwortet werden.

Der gesamte Bogen wurde mittels pre-Test an einer Gruppe von Doktorandinnen und Doktoranden getestet. Dabei wurde darauf geachtet, dass auch für den Vortest Promotionsstudierende verschiedener Fachbereiche beteiligt waren. Anhand des Antwortverhaltens wurde der Bogen überarbeitet. Vor allem die Formulierung einzelner Items wurde angepasst. Da unterschiedliche Skalen verwendet wurden, kann keine Angabe über die gesamte Normalverteilung oder die Reliabilität bezogen auf den gesamten Test gemacht werden. Es wird aber im Folgenden an den entsprechenden Stellen währen der Auswertung darauf hingewiesen.

3.4.2 Ergebnisse

3.4.2.1 Teilnehmer und Teilnehmerinnen

Die gesamte Teilnehmermenge belief sich auf 170. 141 gaben dabei weibliches Geschlecht an, 77 männliches. Damit kann von fast doppelt so vielen Promotionsstudentinnen ausgegangen werden

wie von Promotionsstudenten. Bei einer Spannweite von 28 Jahren ist der jüngste Teilnehmer im Alter von 22 Jahren, der Älteste im Alter von 50. Mittelwert und Median liegen bei 30 Jahren.
In Hinsicht auf die Fachbereiche setzt sich die Teilnehmermenge wie folgt zusammen.

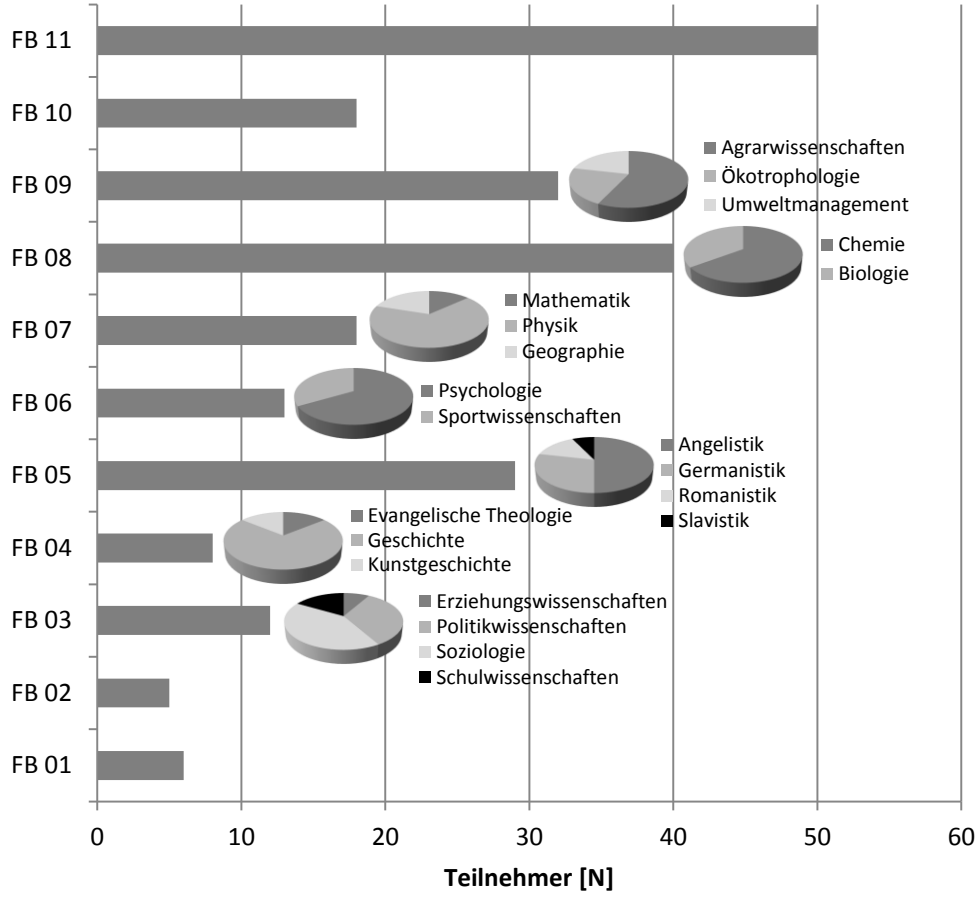


Abb. 112: Aufteilung der Teilnehmer auf die verschiedenen Fachbereiche der Justus-Liebig-Universität Gießen. 01=Rechtswissenschaften; 02=Wirtschaftswissenschaften; 03=Sozial- und Kulturwissenschaften; 04=Geschichts- und Kulturwissenschaften; 05=Sprache, Literatur, Kultur; 06=Psychologie und Sportwissenschaften; 07=Mathematik und Informatik, Physik, Geographie; 08=Biologie und Chemie; 09=Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement; 10=Veterinärmedizin; 11=Medizin

In der hier gezeigten Abbildung ist ein Überblick über die Teilnehmerinnen und Teilnehmer und deren zugehörige Institute dargestellt. Auf der X-Achse ist die Anzahl der Promotionsstudierenden N angegeben. An der Justus-Liebig-Universität Gießen sind die Fakultäten in 11 Fachbereiche (FB) unterteilt. Die genaue Zuordnung kann der Bildunterschrift entnommen werden. Es konnten aus allen Fachbereichen Promotionsstudierende zu Teilnahme an der Umfrage aquiriert werden. Daher wird von einer Repräsentativen Schnittmenge ausgegangen. Dabei sind die Fachbereiche 1, 2 und 4 am wenigsten vertreten. Die meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer ordneten sich den Fachbereichen 5, 8 und 11 zu. Die große Menge an Doktorandinnen des Fachbereiches 11 (Medizin) lässt sich sicherlich durch die Erhebungsmethode erklären. Mit Hilfe des GGL (Gießener

Graduiertenkollleg Lebenswissenschaften) wurden diese Teilnehmerinnen und Teilnehmer erreicht. 25,25% gaben an, Mitglied im GGL zu sein, 12,09% gaben die Mitgliedschaft im GGK (Gießener Graduiertenkolleg Kulturwissenschaften) an. Dies sind weit weniger Studierende als erwartet. An der Justus-Liebig-Universität Gießen ist die Mitgliedschaft im GGK für all die, welche eine Promotion in einer Kultur-, Sozial- oder Sprachwissenschaft angemeldet haben, automatisch gegeben. An dieser Stelle müsste noch genauer erhoben werden, ob die Promotionsstudierenden eventuell ihre Promotion noch nicht angemeldet haben, oder ob sie sich nicht über ihre Mitgliedschaft im GGK bewusst sind.

Wie ebenfalls zu sehen ist, wurden über den Fachbereich hinaus Angaben zum Institut im speziellen gemacht. Es konnte ein breites Spektrum an Promotionsstudierenden erreicht werden. Im Folgenden wird, u.a. aus datenschutzgründen, darauf verzichtet, Teilnehmerinnen und Teilnehmer einzelner Institute miteinander zu vergleichen. Es wird später auf die Kategorisierung in Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft ein gegangen. Dabei bleibt es dem Selbstverständnis der Teilnehmerinnen und Teilnehmer überlassen, in welche Kategorie sie sich einordnen. 35% der Teilnehmerinnen gaben an, in den humanities & social Science zu promovieren, 63,12% gaben die natural science an.[c] In einem freien Feld konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ihre Klassifizierung genauer begründen. Genannt wurde unter anderem, dass die Methoden klar den Natur- oder Geisteswissenschaften zuzuordnen sind. Festgemacht wurde dies zum Beispiel anhand von Datenerhebung im Sinne von „Messen“, am Arbeiten mit lebenden Organismen oder auch am Anwendungspotential im technischen Sinne.
Betrachtet man die Zusammensetzung der Teilnehmermenge genauer, vor allem in Hinsicht auf die Aufteilung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften, ergibt sich folgendes Bild. In der nächsten Abbildung wird der Zusammenhang zum angegebenen Geschlecht dargestellt.
Von allen weiblichen Teilnehmerinnen gaben nur 37,5% an in einer Geisteswissenschaft zu promovieren. Die Mehrzahl der Frauen promovieren demnach in einer Naturwissenschaft. Ebenso promoviert die Mehrzahl der Männer in einer Naturwissenschaft (man beachte hier die größere Gruppe an NaturwissenschaftlerInnen insgesamt).

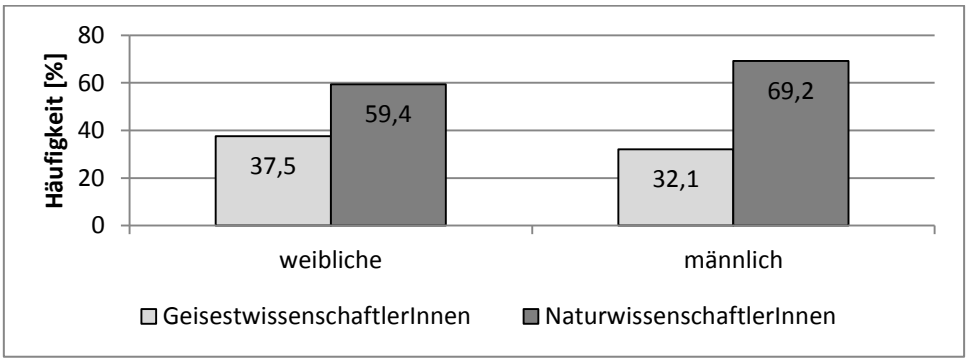


Abb. 113: Geschlecht der Teilnehmermenge

Bezogen auf die Menge an NaturwissenschaftlerInnen gaben 61,3% weibliches und 38,7% männliches Geschlecht an. In den Geisteswissenschaften gaben 75% an Frauen zu sein. Innerhalb der Gruppen der verschiedenen Wissenschaften zeigt sich dasselbe Bild. Die Gesamtzahl an Frauen in der Promotion ist deutlich höher, ebenso wie die Gesamtzahl der NaturwissenschaftlerInnen.

Ebenso wurde gefragt, wie sich die Promotionsstudierenden in der Phase der Doktorarbeit finanzieren. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist die Verteilung auf Drittmittel, Landesstelle und Stipendium etwa gleich. In Bezug auf die Gesamtmenge gaben 28,14% eine Landesstelle, 31,66% ein Stipendium und 28,14% Drittmittel an.

Unterschiede gibt es jedoch zwischen den Fachgebieten der Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften. Die Werte in der Abbildung sind wiederrum innerhalb der Gruppen „Landesstelle“, „Stipendium“ und „Drittmittel“ zu verstehen. So setzt sich die Gruppe derer, die eine Landesstelle haben etwa aus gleichen Teilen aus NaturwissenschaftlerInnen und GeisteswissenschaftlerInnen zusammen. Anders sieht es bei der Gruppe derer aus, die ein Stipendium bzw. ein Drittmittelstelle haben.

[c]Angegeben werden gültige Prozent in Bezug auf die Menge derer, die eine Antwort getätigt haben. Immer wenn gültige Prozent angegeben werden, ist trotz einer geringen Menge an Teilnehmerinnen und Teilnehmer, welche die Frage übersprungen haben, eine ausreichend große und für die Gesamtkohorte repräsentative Menge vorhanden, um eine Aussagen treffen zu könne.

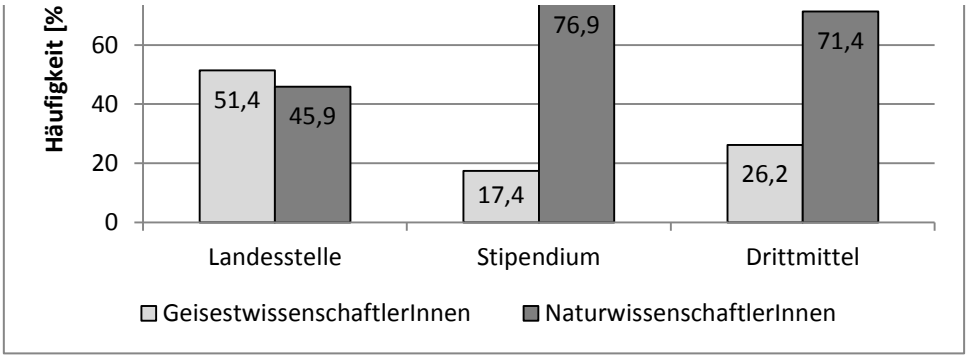


Abb. 114: Finanzierung der befragten Doktorandinnen und Doktoranden

Hier stellen die größte Gruppe deutlich die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler. Im Freitext wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Möglichkeit gegeben, weitere Angaben zu machen. Dabei wurde am häufigsten eine private Finanzierung (zum Beispiel durch die Eltern) oder ein Job außerhalb der Universität angegeben.

Betrachtet man einzelne Fachbereiche, kann man deutliche Verschiedenheiten feststellen. 66,7% der Promotionsstudierenden aus Fachbereich 03 (Social Science and Cultural Studies) gaben an eine Landesstelle zu haben. Aus der großen Gruppe der BiologInnen und ChemikerInnen (Fachbereich 08) gaben dies nur 27,6% an. Ein genauer Blick in die Daten lässt zusammenfassen, dass die vorwiegend Geisteswissenschaftlichen Fachbereiche ihre Doktorandinnen und Doktoranden eher

mit Landesstellen finanzieren. Oder anders gesagt, es gibt wenige GeisteswissenschaftlerInnen mit Stipendium. Zu beachten ist dieses Ergebnis auch immer vor der grundsätzlich größeren Menge an Naturwissenschaftlichen Doktorandinnen und Doktoranden, die dementsprechend nicht alle mit Landesstellen versorgt werden können.

Zudem wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in diesem Abschnitt danach gefragt, wie lange sie bereits an ihren Promotionsarbeiten arbeiten. In Bezug auf die Gesamtmenge gaben 18,5% 0-1 Jahr, 26,59% 1-2 Jahre, 23,12% 2-3 Jahre und 29,48% mehr als 3 Jahre an. Das Maximum liegt also bei den Promotionsstudierenden, die bereits eine längere Zeit in die Doktorarbeit investiert haben. Dabei gaben 50% innerhalb der Gruppe „Fachbereich 03“ (Social science and cultural Studies) an, bereits länger als drei Jahre zu promovieren. Es folgen die Promotionsstudierenden aus Fachbereich 05 (Languages, Literature and Culture) mit 46,2% sowie der Fachbereich 04 (History and Cultural Studies) mit 40%

Die Frage nach der Muttersprache ergab eine große Mehrheit an deutschsprachigen Doktorandinnen. Dennoch wurde 33 mal eine andere Sprache angegeben. Hier lässt sich keine Sprache herausheben, die besonders häufig angegeben wurde. In Bezug auf die gültigen Prozent gaben 19,9% nicht Deutsch als Muttersprache an. Innerhalb der Naturwissenschaften gaben 66% deutsch an, innerhalb der Geisteswissenschaften 42%. In Bezug auf die Gruppe der Sprache sind allerdings mit 75% (N=21) die meisten nicht deutschsprachigen Doktorandinnen in den Naturwissenschaften zu finden. Insgesamt werden 68,8% der nicht deutschsprachigen Doktorandinnen und Doktoranden über ein Stipendium finanziert und 71,9% gaben die Zugehörigkeit zum GGL an. 96,4% gaben an, keine Lehrverpflichtung an der Universität zu übernehmen.

3.4.2.2 Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fächern und Fachbereichen

Genauer betrachtet wurde die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fächern und Fachbereichen. Dabei wurden die NaturwissenschaftlerInnen getrennt von den GeisteswissenschaftlerInnen befragt. Die Einteilung erfolgte anhand der von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern selbst gemachten Angaben. Unterschieden wurden Kooperationen, in denen Methoden anderer Fächer verwendet werden, Arbeiten, deren Inhalt ein anderes Fach tangiert sowie Forschungskooperationen, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Fachbereiche miteinander zusammenarbeiten. Die folgende Abbildung fasst der Ergebnisse zusammen.

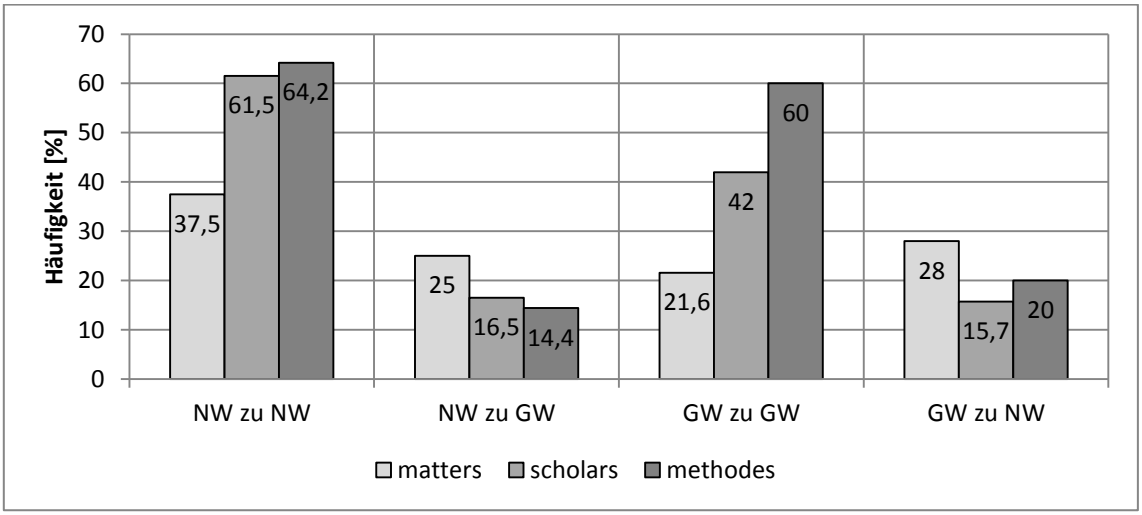


Abb. 115: Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten der Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften

Die beiden linken Balkendarstellungen geben die Antworten der NaturwissenschaftlerInnen wieder, die beiden Rechten die der GeisteswissenschaftlerInnen. Die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler wurden gefragt, ob sie Verknüpfungen zu einem Fach aus den Naturwissenschaften (NW zu NW) oder zu einem Fach aus der Geisteswissenschaft (NW zu GW) in den verschiedenen Ebenen haben (und umgekehrt für die GeisteswissenschaftlerInnen und GeisteswissenschaftlerInnen). 64,2% der Natur-wissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler gaben dabei an, eine Methode zu verwenden, die einem anderen naturwissenschaftlichen Fach zugehörig ist. Eine Menge von 61,5% gab eine persönliche Forschungskooperation an. Vergleicht man dies mit den Antwortstrukturen innerhalb der Geisteswissenschaften (GW zu GW) stellt man fest, dass hier nur 42% eine persönliche Forschungskooperation angaben. Absolut gesehen sind beide Werte jedoch für sich genommen nicht sehr gering. Methoden werden demnach durchaus oft fächerübergreifend verwendet. Genauer zu untersuchen wäre, ob die persönlichen Kontakte durch den Austausch von Methoden zustande kommen. Sowohl innerhalb der Naturwissenschaften als auch innerhalb der Geisteswissenschaften gilt, dass Inhalte am wenigsten ausgetauscht werden. Das bedeutet, dass die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hauptsächlich an einer dem Fach eigenen Fragestellung arbeiten, diese aber versuchen mit Hilfe von persönlichen Kooperationen und Methoden auch anderer Fächer zu klären.

Anders wiederum kann der Sachverhalt beschrieben werden, wenn die Verknüpfungen über die Fachgebiete der Naturwissenschaft (NW zu GW) und der Geisteswissenschaft (GW zu NW) hinaus betrachtet werden. Hier sind es vor allem Inhalte, die ausgetauscht werden. Forschungskooperationen zu anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sind mit 16,5% und 15,7% weniger häufig, aber dennoch vorhanden. In Summe findet weniger Austausch über die Fachgebietsgrenzen hinweg statt. Das nicht natürlich nicht verwunderlich, denn Inhalte und Methoden können sich mitunter stark unterscheiden. Bei den Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern wurden hauptsächlich Biologie und Medizin als Fächer zur Verknüpfung

genannt. An geisteswissenschaftlichen Fächern waren es Politik, Soziologie aber auch (vereinzelt) Religion, Recht und Sprachen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Geisteswissenschaften nannten vor allem Geschichte, aber auch Soziologie und Pädagogik als verknüpfte Fächer. Biologie und Psychologie wurden als Naturwissenschaften genannt.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die einzelnen Promotionsarbeiten zu einem großen Teil mit anderen Fächern in Hinsicht auf Methoden, Inhalte und Kooperationen verknüpft sind. In den folgenden Abschnitten wird darauf eingegangen, welchen Vorteil sich die Doktorandinnen und Doktoranden davon versprechen. Zunächst wird aber ein Blick auf die Forschungszeile im Allgemeinen erfolgen.

3.4.2.3 Forschungsziele

Ob eine Forschungsarbeit wissenschaftlich gelungen ist der nicht unterliegt bestimmten Maßstäben. In vielerlei Hinsicht gilt hier vor allem, etwas „Neues“ herauszustellen. Etwas „Neues“ kann allerdings unterschiedlich verstanden werden. Zum Beispiel können damit eine neue Idee, eine neue Theorie, eine neue Anwendung oder auch neue Daten gemeint sein. In manchen Fächern bedeutet etwas „Neues“ vielleicht auch, neue Gedanken mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu kommunizieren. Es wurde hier daher erhoben, welche Ziele die Doktorandinnen und Doktoranden verfolgen. Die nachstehende Abbildung zeigt die Ergebnisse wiederum in Hinsicht auf Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Geistes-, oder Naturwissenschaften.
Mit 84% ist es den Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftlern minimal wichtiger einen Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs zu liefern. Im Vergleich mit allen nun folgenden Items liegt hier das Maximum für die Promotionsstudierenden der Geisteswissenschaften. Das heißt, dieser Punkt scheint besonders wichtig zu sein. Mit einem Unterschied von knapp 30% gaben deutlich mehr Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler an, dass ihre Arbeit auf Daten basiert. Zum Einen ist es erstaunlich, wie viele Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler empirisch arbeiten, entgegen dem Vorurteil, die meisten Arbeiten seien ausschließlich theoretisch. Zum Anderen sind es doch immerhin 16,1% der naturwissenschaftlichen Arbeiten, denen keine Messungen und andere Daten zugrunde liegen.

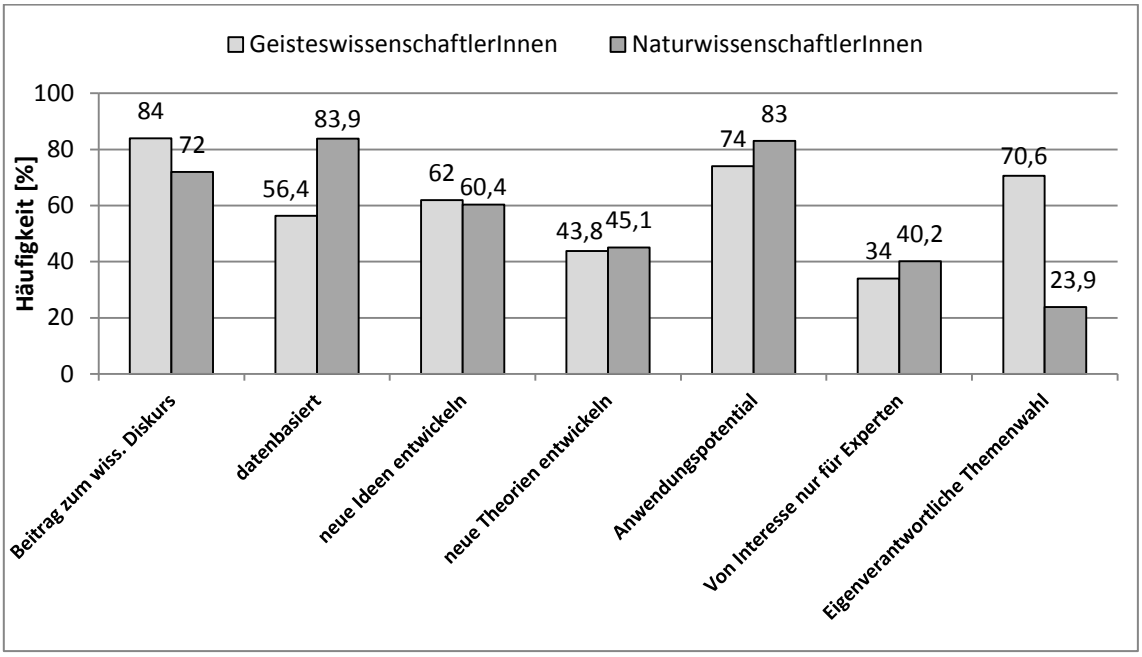


Abb. 116: Forschungsziele der Promotion in Hinsicht auf Geisteswissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlerinnen

Das Entwickeln von neuen Ideen wird in beiden Fachbereichen mit 62% und 60,4% etwa gleich gewichtet. Ebenso verhält es sich mit dem aufstellen neuer Theorien, die Differenz beträgt auch hier nur 1,3%. Auch wenn sich die Methodik in den Fächern unterschiedet, ist die Entwicklung von Ideen und Theorie anscheinend ein maßgeblicher Schritt wissenschaftlichen Arbeitens (vgl. Kapitel 2.2).

Interessant ist das Antwortverhalten im Bereich des Anwendungspotentials. Dabei unterliegen die Geisteswissenschaften dem Vorurteil, dass sie weniger Anwendung zu bieten hätten als die Naturwissenschaften. Doch es gaben mit 74% nur 9% weniger GeisteswissenschaftlerInnen als NaturwissenschaftlerInnen an, dass ihre Arbeit ein konkretes Anwendungspotential habe. Hier müsste jedoch genauer untersucht werden, wie konkret die Anwendung tatsächlich ist, d.h. ob es „nur“ eine verwandte Anwendung geben könnte, die potentiell denkbar ist, oder ob es einen sehr konkreten Gedanken zur Anwendung gibt. Außerdem scheint von Interesse zu sein, ob diese Anwendung innerhalb der akademischen Welt liegt, oder in der Gesellschaft. Betrachtet man die Antwortstruktur in Bezug auf die Gruppe innerhalb der jeweiligen „Zielangaben“, stellt man fest, dass 63,9% aller, die auf die Frage nach dem Anwendungspotential mit Ja geantwortet haben den Naturwissenschaften zugehören und nur 30,3% den Geisteswissenschaften. Mit 34% (Geisteswissenschaften) und 40,2% (Naturwissenschaften) gaben allerdings relativ wenige Teilnehmerinnen und Teilnehmer an, dass ihre Arbeit nur für eine spezielle Fachpublikation interessant sei. Wenn man das Antwortverhalten hier statistisch interpretieren will, kann man davon ausgehen, dass die Mehrheit aller Doktorarbeiten auch für ein breites Publikum interessant ist, welches sich nicht nur aus akademischen Spezialisten zusammensetzt. Die Gruppe derer, die auf

diese Frage mit Ja geantwortet haben setzt sich zu 66,1% aus NaturwissenschaftlerInnen und zu 30,4% aus GeisteswissenschaftlerInnen zusammen.

Insgesamt ist zudem von Interesse, ob die Doktorandinnen und Doktoranden das Thema ihrer Arbeit selbst erarbeitet haben. Die dazu gestellte Frage lautet: *I personally selectes my dissertation topic and am personally responsible fort the developement of the research question(s)*. 70,6% der Geisteswissenschaftlerinnen gaben an persönlich für ihre Arbeit verantwortlich zu sein. Nur 23,9% der Naturwissenschaftler sind allerdings selbst bei der Themenwahl ihrer Dissertation beteiligt. Dieses Ergebnis entspricht auch den Beobachtungen, die im universitären Alltag gemacht werden können. Dabei ergeben sich Themen für Dissertationen in den Naturwissenschaften oft aus Vorarbeiten, die in der jeweiligen Arbeitsgruppe getätigt wurden.

Die persönliche Relevanz der Promotionsarbeiten wurde über die Fachgebiete hinweg erfasst. Folgende Tabelle zeigt die häufigsten Antworten.

Tab. 11: Gründe zur Anfertigung einer Promotionsarbeit

Karriere	65
Interesse und Wissensaneignung	37
Persönliche Weiterqualifikation durch richtiges wissenschaftliches Arbeiten	32
Wissenschaftlichen Beitrag leisten	13
Spaß und Begabung	11
Weil es dazu gehört/weil ich die Möglichkeit hatte	9
Titel	9
Persönliche Herausforderung	8

Der am häufigsten genannte Grund zum Anfertigen einer Promotionsarbeit sind die besseren Karrierechancen. Viermal wurde konkret die Industrie als Karriereziel genannt, 25 mal eine akademische Laufbahn. Die restlichen Nennungen waren nicht genauer differenziert. Des Weiteren wurden die persönliche Weiterqualifikation im Sinne von korrekter wissenschaftlicher Praxis und die Aneignung von Wissen häufig genannt.

3.4.2.4 Sinn von Interdisziplinarität

Nachdem festgestellt wurde, dass eine Vielzahl von Doktorandinnen und Doktoranden Methoden, Inhalte oder Kooperationen aus und mit anderen Fächern verbinden, kann danach gefragt werden, welchen Mehrwert sie sich davon versprechen wird. Der Sinn von Interdisziplinarität für die Forschung ergibt sich nicht nur aus dem wissenschaftstheoretisch aufkommenden Diskurs über die Disziplinen und die Zusammenhänge des Fächerkanons an der Universität. Wie bereits einleitend erwähnt, bilden Forschungsprojekte Fragen ab, die auch in der Gesellschaft ihre Entsprechung finden. Weshalb jedoch ein bestimmtes Forschungsprojekt im konkreten interdisziplinär ist, kann

unterschiedliche Gründe haben, die nicht unbedingt idealistischer Natur sein müssen. Hier wurden vier Möglichkeiten zur Antwort angeboten.

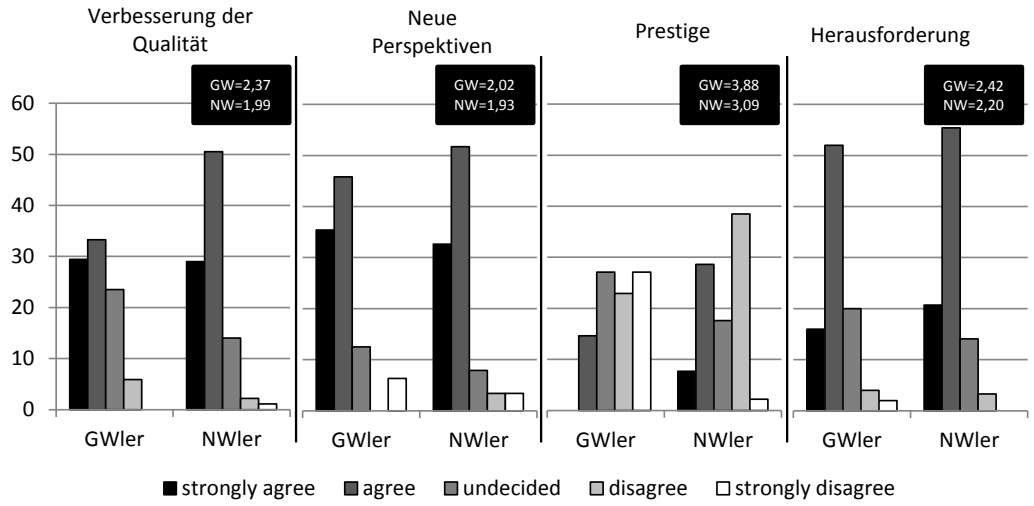


Abb. 117: Sinn von Interdisziplinarität für die Forschung

Die Daten sind nicht normalverteilt, weisen aber ähnliche Q-Q-Plots auf. Die Berechnung der Mittelwertunterschiede wurde nach Mann-Whitney durchgeführt.

Zum einen wurde gefragt, ob die Qualität der eigenen Forschung durch Verbindungen zu anderen Fächern profitiert. Auf der hier verwendeten fünfstufigen Skala erreichten die NaturwissenschaftlerInnen einen Mittelwert von 1,99, die GeisteswissenschaftlerInnen einen etwas höheren Mittelwert von 2,37. Beide Gruppen drückten hier Zustimmung aus (agree), die Tendenz der GeisteswissenschaftlerInnen liegt stärker auf der Seite der Unentschlossenheit als bei den NaturwissenschaftlerInnen. Das Muster des Antwortverhaltens ist ebenfalls in der Abbildung dargestellt. Bei beiden Befragtengruppen liegt das Maximum bei „agree“, jedoch ist das Maximum der NaturwissenschaftlerInnen deutlich höher, während die Antworten der GeisteswissenschaftlerInnen verteilter ausfallen.
Sehr ähnliche Mittelwerte und auch ein ähnliches Antwortmuster zeigt die Frage danach, ob durch Interdisziplinarität neue Perspektiven für das eigene Forschungsprojekt gewonnen werden können. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bewerteten diese Frage mit Zustimmung, wiederrum bei mit einem Maximum bei einem Wert von 2 auf der fünfstufigen Skala. Diese Frage erhielt von beiden ForscherInnengruppen ebenfalls häufig volle Zustimmung.
Ein weiterer Grund für die Durchführung interdisziplinärer Forschungsprojekte kann der erhöhe Prestige sein und die damit einhergehende Möglichkeit in anderen Journals zu publizieren. Der Mittelwert der NaturwissenschaftlerInnen liegt mir 3,09 deutlich unter dem der GeisteswissenschaftlerInnen von 3,88. Diese Mittelwerte unterscheiden sich mit einer Signifikanz von .001. Die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler drückten tendenziell

Unentschlossenheit aus, die Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler hingegen eher Ablehnung. Das Antwortmuster ist jedoch breit verteilt. Man kann vermuten, dass der Prestige von interdisziplinären Arbeiten in den Naturwissenschaften einen höheren Benefit ausmacht, eventuell auch bessere Möglichkeiten zur Einwerbung von Drittmitteln. Eine andere Interpretationsmöglichkeit wäre, dass die Motivation der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler weniger aus der Motivation eines erhöhten Prestiges heraus entsteht. Vor allem die große Ablehnung durch die fünfte Ausprägung auf der Skala lässt das vermuten.
Als letztes wurde gefragt, ob Interdisziplinarität in der eigenen Forschung eine persönliche Herausforderung darstellt. Dies wurde wiederum von beiden Teilnehmerinnengruppen sehr ähnlich in Mittelwert und Struktur bewertet.

Insgesamt lässt sich sagen, dass der Nutzen für die persönliche Qualifikation und die Qualität der Forschung von beiden Gruppen positiv bewertet wurde. Die TeilnehmerInnen drückten Zustimmung aus und unterstrichen damit die Wichtigkeit von Interdisziplinarität in der Forschung. Dieses Ergebnis deckt sich damit, dass ebenfalls viele Promotionsstudierende Verbindungen zu anderen Fächern angaben.

3.4.2.5 Das Konzept von Interdisziplinarität

Besonders interessant ist die Frage nach dem Konzept von Interdisziplinarität. Wie bereits diskutiert hat „Interdisziplinarität“ als Schlagwort eine mehr oder weniger konkrete wissenschaftstheoretische Entsprechung (vgl. Kapitel 2.3.3). Was meinen aber die Doktorandinnen und Doktoranden, wenn sie von Interdisziplinarität sprechen? In drei Items wurde das Verständnis von Interdisziplinarität abgefragt. Dabei wurde Differenziert zwischen Zusammenarbeiten zwischen den Fachgebieten der Natur- oder Geisteswissenschaft, zwischen Kooperationen innerhalb dieser großen Fachgebiete, bzw. zwischen Verknüpfungen zwischen kleineren Fachbereichen innerhalb eines Faches. Als Beispiel kann man fragen: Ist Interdisziplinarität gegeben, wenn

a) Die Biologie mit der Geschichte zusammenarbeitet
b) Die Biologie mit der Chemie Zusammenarbeitet
c) Die Botanik mit der Genetik zusammen arbeitet

An diesem Beispiel sieht man den Unterschied, auch in Bezug auf den Begriff der Intradisziplinarität. Folgende Abbildung fasst die Ergebnisse zusammen. Wie zuvor wurden Mittelwertunterschiede nach Mann-Whitney berechnet.

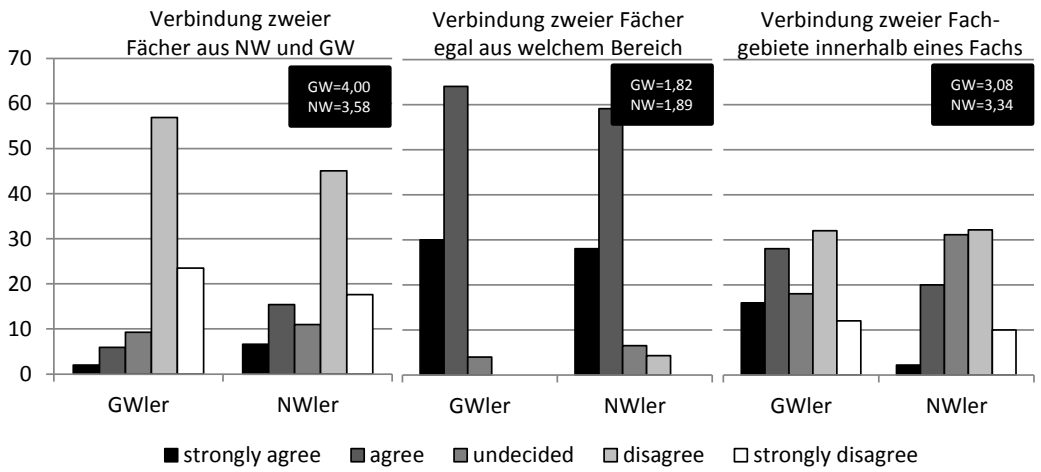


Abb. 118: Das Konzept von Interdisziplinarität von Geistes-und NaturwissenschaftlerInnen. y-Achse [%]

Die Antwort auf die Frage, ob Interdisziplinarität nur dann zustande kommt, wenn zwei Fächer aus NW und aus GW kooperieren, wurde tendenziell von beiden Befragtengruppen gleich beantwortet. Das Maximum liegt bei einer Ablehnung (disagree), bei Ausprägung 4 auf der fünfstufigen Skala. Komplette Ablehnung (Ausprägungen 5) wurde ebenfalls häufig genannt. Mit 47,5% gab fast die Hälfte aller Befragten an, dass sie dem nicht zustimmen. Nach diesem Verständnis müssen an einer interdisziplinären Zusammenarbeit nicht zwangsläufig eine Geisteswissenschaft und eine Naturwissenschaft beteiligt sein. Die Ausprägung 4 ist auch für die Frage danach, ob Interdisziplinarität innerhalb eines Fachs möglich ist, am häufigsten vertreten. Hier ist die Verteilung der Antworten jedoch breiter. Die Mittelwerte von 3,08 und 3,34 drücken zudem eher Unentschlossenheit aus. Die größte Zustimmung erhielt die Hypothese, dass für eine Interdisziplinäre Zusammenarbeit zwei Fächer beteiligt sein müssen, egal aus welchen Fachbereichen aber mit dem deutlichen Hinweis, dass es sich um zwei verschiedene Fächer handeln muss. Eine Kooperation also zwischen zwei verschiedenen Disziplinen, unabhängig von deren Herkunft. Hier liegen die Mittelwerte bei 1,82 bzw. bei 1,89 sehr nahe zusammen. Ausprägung 1 und 2 (strongly agree und agree) wurde am häufigsten gegeben.

Der Vergleich zwischen NaturwissenschaftlerInnen und GeisteswissenschaftlerInnen ergab keinen signifikanten Mittelwertunterschied. Auch in der Antwortstruktur ähneln sich die beiden Gruppen stark. In dieser Hinsicht kann man formulieren, dass die Gruppe der Befragten Interdisziplinarität wie folgt definieren: *Interdisziplinarität ist eine Zusammenarbeit zwischen zwei verschiedenen Disziplinen (nicht zwischen zwei Bereichen innerhalb einer Disziplin) egal, aus welchem übergeordneten Bereich diese entstammen.*

Offen bleibt hier, in welcher Ebene die Kooperation stattfinden muss (Methode, Inhalt, Zusammenarbeit). Des Weiteren bleibt offen, ob diese Kooperation von Dauer sein muss oder punktuell sein kann.

Um das Konzept von Interdisziplinarität noch tiefgehender zu verstehen, wurde ein offenes Feld in den Fragebogen intergiert. Die Promotionsstudierenden äußerten, dass interdisziplinäre Forschung „verschiedene Fachgebiete“, „Unterschiedliche Institutionen“ oder „verschiedene Themenbereiche“ verbindet. Es wurde genannt, dass es unterschiedliche Perspektiven auf ein und das selbe Thema geben sollte: „The way of working and adressing a problem is differnet among different subjects“. Außerdem wurde auf die Hindernisse hingewiesen, da „two or more faculties [need to] overcome their pride and arrogance, wide their horizon and work together“. In dieser Äußerung steckten nicht nur formale Probleme beim interdisziplinären Arbeiten, hier wird wieder auf unterschiedliche Fachverständnisse hingewiesen und auf Vorurteile, die zum Teil auch durch die verschiedenen Arbeitsweisen, Fachhabitus und auf die verschiedene Fachsprache zurückgehen können. Es wurde zudem darauf hingewiesen, dass „eine Dissertation […] kaum in einem einzigen Gebiet verbleiben kann.“ Das liegt vor allem daran, dass in Dissertationen häufig Fragestellungen bearbeitet werden, „die von keiner der beiden Wissenschaften [die an der Kooperation beteiligt sind] alleine mit deren bisherigen Konzepten befriedigend beantwortet werden kann“. Vor allem aber liegt „Interdisziplinarität […] dann vor, wenn die Ergebnisse einer Forschungsarbeit mehrere Bereiche direkt oder indirekt“ betreffen. Das würde bedeuten, dass Interdisziplinarität nicht von vorne herein angelegt sein muss, sondern sich auch über die Ergebnisse definiert, für die wissenschaftliche Verantwortung übernommen werden muss. Häufig genannt wurde zudem, dass es wichtig ist „new insights into a topic“ zu erlangen und das durch den Gebrauch von Methoden anderer Disziplinen. Zusammenfassend kann man diesen Austausch von Methoden durch „learning from each other“ und durch „crossing boundaries“ beschreiben.

Diese Zusammenstellung soll einen groben Einblick in die genannten Aussagen liefern. Durchaus wurde auch bemerkt, dass Interdisziplinarität zwar ein häufig gebrauchtes Schlagwort ist, man sich aber über die genaue Bedeutung nicht im Klaren ist. Sehr oft wurde zu der Erklärung hinzugefügt, dass diese nur der eigenen Meinung entspricht. Trotz den häufig durchgeführten fächerübergreifenden Aufgaben scheint es noch Klärungsbedarf zu geben, was die Definition von Interdisziplinarität betrifft.

3.4.2.6 Lehre an der Universität

Nachdem ausführlich das Verhältnis von Interdisziplinarität und Forschung untersucht wurde, wird nun näher auf die Lehrtätigkeit der Doktorandinnen und Doktoranden an der Universität eingegangen. Insgesamt gaben 64 Teilnehmerinnen und Teilnehmer an in die Lehre involviert zu sein. Die folgende Betrachtung bezieht sich auf diese kleinere Menge. Wie die Abbildung zeigt sind mehr GeisteswissenschaftlerInnen als NaturwissenschaftlerInnen an der Lehre beteiligt.

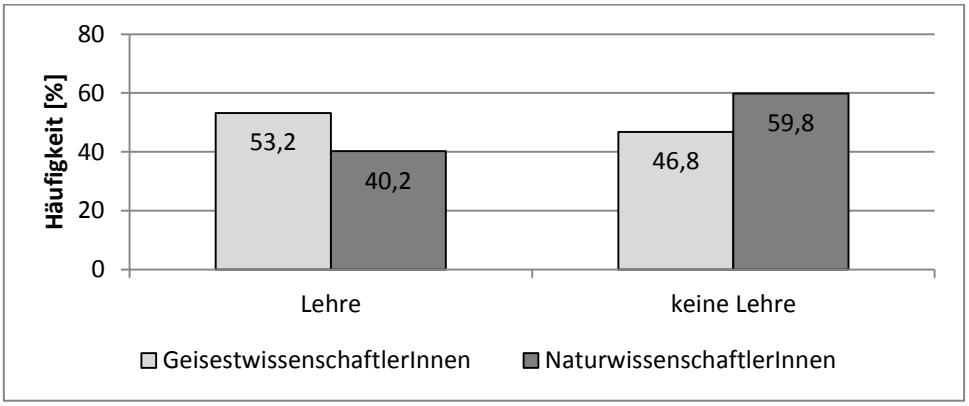


Abb. 119: Häufigkeiten der DoktorandInnen die an der Universität unterrichten

Die Fachbereiche 08 (Biology and Chemistry), 09 (Agricultural Sciences, Nutritional Sciences and Enviromental Management) sowie der Fachbereich 05 (Languages, Literature, Culture), stellen jeweils mit über 20% die größte Menge. Aus dem Fachbereich 01 (Law), gab kein Teilnehmender an zu unterrichten, aus den Fachbereichen 11 (Medicine), 10 (Veterinary Medicine), 06 (Psychology and Sport Science), 04 (History and Cultural Studies), 03 (Social Sciences and Cultural Studies) sowie 02 (Economics ans Buisiness Studies) gaben jeweils unter fünf Teilnehmerinnen oder Teilnehmer Lehrtätigkeiten an. In Hinsicht auf die einzelnen Fachbereiche können keine verallgemeinernden Aussagen getroffen werden. In der Einteilung nach Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften sind die Gruppen jedoch genügend groß.

Zunächst wurde erhoben, welche Lehrveranstaltungen die Promotionsstudierenden betreuen. Die meisten befragten unterrichteten 2 oder 4 Semesterwochenstunden, in Ausnahmen wurden mehr Stunden angegeben. Die Aufteilung auf die verschiedenen Lehrveranstaltungen sieht wie folgt aus:

- Seminar: 34,74%
- Vorlesung: 7,73%
- Übung: 22,11%
- Praktikum: 27,37%
- Anderes: 8,42%

Unter „Anderes“ wurden zum Beispiel Sprachkurse, Kolloquien oder Betreuung von Qualifikationsarbeiten gefasst.

Durchschnittlich werden für die Vorbereitung von Seminaren 3,8 Zeitstunden pro Woche verwendet. Dabei wurde zwischen einer halben Stunde und zehn Stunden alles breit verteilt genannt. Die angegebene Vorbereitungszeit für eine Vorlesung pro Woche beträgt hingegen nur 2,8 Zeitstunden, für Übungen ebenfalls 2,8. Der genaue Grund, warum für Seminare im Mittel eine Stunde Zeit mehr benötigt wird, wurde nicht erhoben. Es könnte vermutet werden, dass der studentische Arbeitsanteil in Übungen höher ausfällt und Vorlesungen in Form von Folien eventuell bereits teilweise zur Verfügung stehen.

Die Betreuung von Praktika ist durch deren häufigen Blockcharakter vielschichtiger auszuwerten. Die (vorwiegend naturwissenschaftlichen) Blockpraktika haben eine Dauer zwischen einer und zwölf Wochen. Am häufigsten wurde eine Dauer zwischen vier und acht Wochen angegeben. Pro Woche verbringen die Doktorandinnen und Doktoranden im Schnitt 8,7 Stunden bei den Studierenden im Praktikum. Diese Zeit variiert aber (abhängig von der Gesamtdauer des Praktikum) zwischen einer und 32 Stunden pro Woche. Insgesamt werden im Schnitt knapp 13 Stunden insgesamt auf die Vorbereitung des Praktikums verwendet.

3.4.2.7 Sinn und Relevanz von Lehre

Die oben aufgezeigte Zeit, die von Doktorandinnen und Doktoranden für die Lehre verwendet wird, kann durchaus unterschiedlich empfunden werden. Es wurden die Promotionsstudierenden deshalb befragt, wie sie ihre Lehrverpflichtung selbst wahrnehmen. Die folgende Abbildung fasst die Ergebnisse zusammen. Hier konnten die Studierenden zwischen positiven und negativen Effekten von Lehre auswählen. Mehrfachnennungen waren möglich.

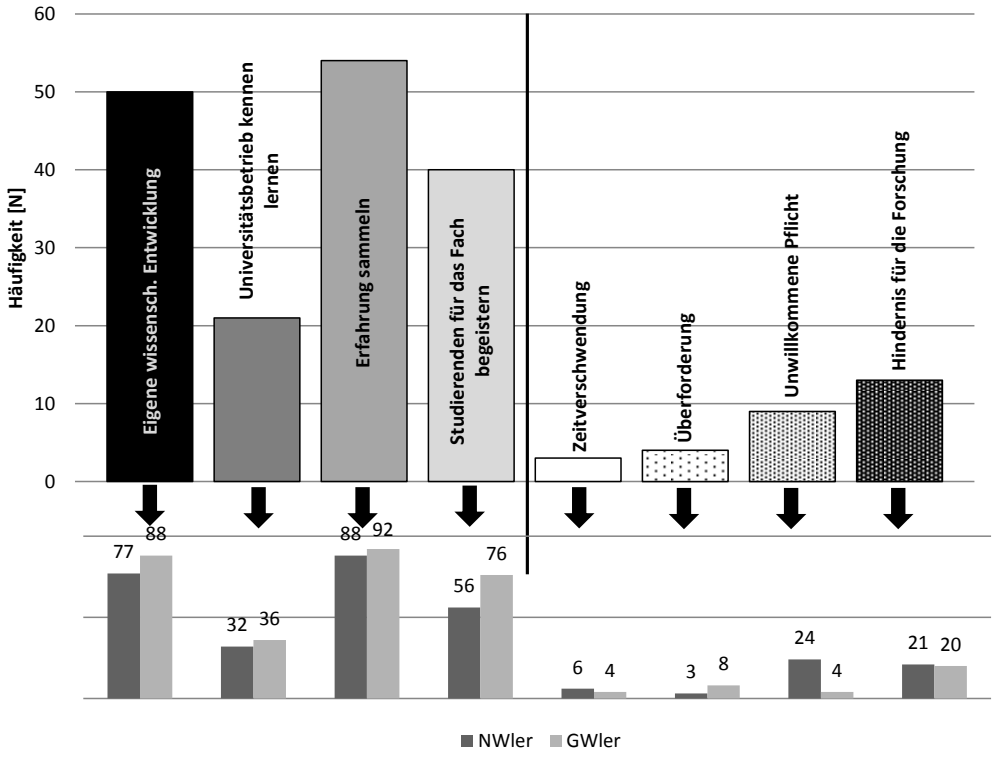


Abb. 120: Sinn von Lehre. Im unteren Teil der Abbildung werden Prozentwerte innerhalb von NWler oder GWler angegeben.

Auf den ersten Blick fällt auf, dass die positiven Aspekte von Lehre (Links) gegenüber den negativen (rechts) überwiegen, also deutlich häufiger angekreuzt wurden. Der am häufigsten genannte positive Aspekt (54 Nennungen) ist das Sammeln von Erfahrung. Im Vergleich damit, dass eine Vielzahl der Doktorandinnen und Doktoranden Angaben wegen einer angestrebten akademischen

Laufbahn eine Promotion anzufertigen, macht es Sinn, dass hier das Sammeln von Erfahrung auch an erster Stelle steht. 50 Mal wurde zudem die eigene wissenschaftliche Weiterentwicklung genannt, 40 Mal das die Studierenden für das Fach begeistert werden sollen. Die negativen Aspekte wurden kaum angekreuzt. Lediglich 13 Mal wurde bemängelt, dass die Lehrtätigkeit von der eigenen Forschung abhält.

Auch hier kann man einen Vergleich zwischen NaturwissenschaftlerInnen und GeisteswissenschaftlerInnen ziehen. Die Angaben über den Balken verstehen sich hier als Prozentwerte bezogen auf die Menge der jeweiligen Teilnehmergruppen. Tendenziell (man beachte die geringeren Teilnehmerzahlen), sind die Maxima auf der Seite der positiven Aspekte immer bei den GeisteswissenschaftlerInnen stärker. Der größte Unterschied ist bei der Frage danach zu beobachten, ob die Studierenden vom eigenen Fach begeistert werden sollen. Hier stimmten deutlich mehr GeisteswissenschaftlerInnen zu als NaturwissenschaftlerInnen. Auf der Seite der negativen Aspekte sind die Maxima der NaturwissenschaftlerInnen immer höher, auch wenn die Unterschiede auf die Menge an Teilnehmerinnen nur tendenziell gedeutet werden kann. Besonders deutlich ist der Unterschied bei dem Item „Unwillkommene Pflicht“, das von 24% der NaturwissenschaftlerInnen und nur von 4% der GeisteswissenschaftlerInnen angekreuzt wurde. Dennoch stellt sich die Tendenz heraus, dass die Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler im Allgemeinen häufiger die positiven Aspekte ankreuzten und die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler häufiger die negativen.

Um die Relevanz von Lehre genauer zu untersuchen, wurden die Studierenden gebeten sich zwischen zwei Extrema auf einer sechstufigen Skala einzuordnen. Die Daten waren nicht normalverteilt und wiesen auch keine Ähnlichkeiten in den Q-Q-Plots auf. Mittelwertvergleiche wurden daher mittels Mediantest durchgeführt. In der folgenden Abbildung wird die Gruppe der NaturwissenschaftlerInnen erneut mit der Gruppe der GeisteswissenschaftlerInnen verglichen. Hier wurden nicht die Antwortstrukturen der Skala, sondern die Mittelwerte aufgetragen. Die Mittelwerte verstehen sich auf einer sechstufigen, endverbalisierten Skala, wobei die Extrema der Skala jeweils eine Extremposition darstellen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden gebeten sich zwischen diesen extremen Aussagen zu positionieren (vgl. Tab. 10). Dabei fallen einige Mittelwertunterschiede signifikant aus.

In Frage eins wurden gefragt, ob die Qualität der Lehre sehr wichtig für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ist, bzw. ob ihnen die Qualität der eigenen Lehre egal ist. Der Mittelwert der Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen liegt mit 1,68 signifikant höher als der der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler. Beide Gruppen ordneten sich deutlich links ein, gaben damit also an, dass ihnen die Qualität der Lehre wichtig ist. Da der Mittelwert der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler höher ausfällt, wird hier ausgedrückt, dass ihnen die Qualität marginal aber signifikant weniger wichtig ist.

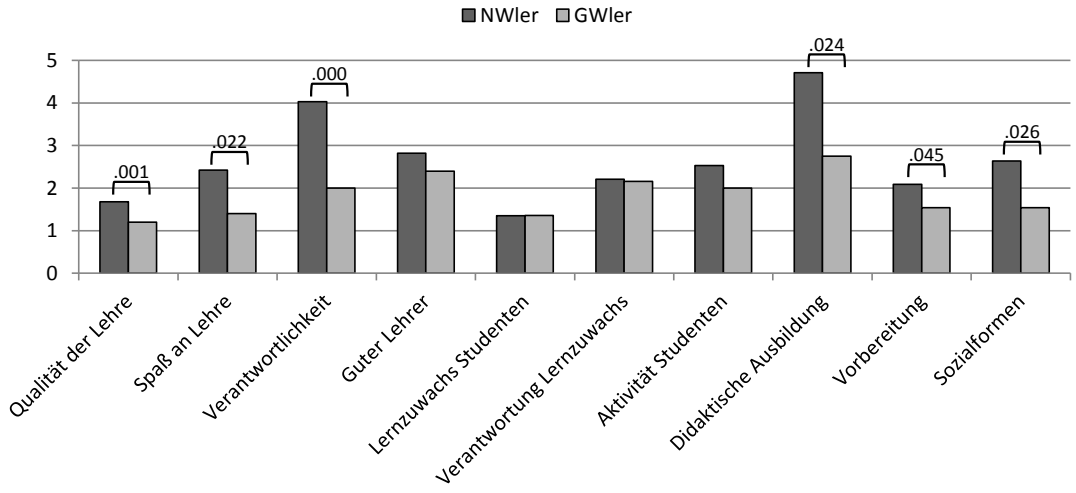


Abb. 121: Relevanz von Lehre. y-Achse: Mittelwerte; sechsstufige Skala zwischen zwei Extrema.

Auch die Mittelwerte in der Frage, ob die Teilnehmerinnen und Teilnehmer es mögen zu unterrichten, fielen signifikant unterschiedlich aus. Auf der sechstufigen Skala lag der Mittelwertunterschied der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler mit 2,42 immer noch im Bereich der Zustimmung. Der Mittelwert der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler lag mit 1,92 signifikant niedriger. Sie drückten so aus, dass sie etwas lieber unterrichten.

Deutliche Unterschiede kann man beim Vergleich der dritten Frage beobachten. Hier wurde danach gefragt, ob die Doktorandinnen und Doktoranden selbst verantwortlich für die Inhalte ihrer Lehrveranstaltungen sind. Der Mittelwert der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler liegt mit 2,00 im zustimmenden Bereich. In Fächern, die allgemein zu den humanities&social sciences gezählt werden, ist es häufiger gegeben, dass Doktorandinnen und Doktorandin Lehrveranstaltungen zu ihrem eigenen Forschungsthema anbieten und die Inhalte weitgehend selbst gestalten. Diese Veranstaltungen können zum Beispiel als Wahlpflichtkurse angeboten sein und sind dementsprechend oft nur eine mögliche Lehrveranstaltung in einem bestimmten Modul. Die NaturwissenschaftlerInnen hingegen drückten mit einem Mittelwert von 4,03 aus, dass sie die Inhalte ihrer Lehrveranstaltungen eher vorgegeben bekommen. Dies entspricht auch den Beobachtungen. Das Curriculum in naturwissenschaftlichen Studiengängen gibt die Inhalte vor, die in bestimmten Modulen erarbeitet werden sollen. Die Möglichkeit zwischen mehreren Lehrveranstaltungen für ein Modul zu wählen ist hier seltener.

In der Mitte des Tests folgten drei Items, die sich mit den Studierenden und deren Lernzuwachs beschäftigten. Es wurde gefragt, ob es am wichtigsten ist, dass die Studierenden etwas lernen und ob der Lernzuwachs der Studierenden in der Verantwortung des Lehrers oder der Lehrerin liegt. Beide Items weisen keine signifikanten Mittelwertunterschiede auf. Außerdem wurde hier grundsätzlich Zustimmung ausgedrückt. Interessanterweise erfährt auch der Punkt, ob der Lernzuwachs in der Verantwortung der Doktorandinnen liegt, Zustimmung. Gerade im modularisierten System sind die Lehrveranstaltungen tendenziell lehrerzentrierter und der

Studienplan ist straffer organisiert. Trotzdem geben sowohl die GeisteswissenschaftlerInnen als auch die NaturwissenschaftlerInnen an, dass in guten Lehrveranstaltungen die Studierenden viel sprechen sollten (mit Mittelwerten von 2,00 und 2,53).
Signifikante Mittelwertunterschiede weisen erneut die letzten drei Items auf. Das in der Abbildung mit „didaktische Ausbildung“ gekennzeichnete Item fragte ab, ob die Doktorandinnen und Doktoranden ein „teaching training“ erhalten haben. Die Unterschiede zwischen GeisteswissenschaftlerInnen und NaturwissenschaftlerInnen fallen sehr deutlich aus. Mit einem Mittelwert von 4,71 lehnten die NaturwissenschaftlerInnen diesen Punkt ab, gaben also damit an, eher keine didaktische Bildung genossen zu haben. Die GeisteswissenschaftlerInnen hingegen drückten mit einem Mittelwert von 2,75 grundsätzlich Zustimmung aus. Der Unterschied ist hier besonders deutlich zu erkennen. Um genauere Aussagen über den Grund dieses signifikanten Unterschieds zu machen, müsste untersucht werden, ob viele der geisteswissenschaftlichen Promotionsstudierenden aus dem Lehramt kommen, oder ob die Weiterbildungsangebote für Doktorandinnen und Doktoranden eher weniger von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern genutzt werden.
Die Frage nach der Vorbereitung auf die Lehrveranstaltungen fiel ebenfalls signifikant unterschiedlich aus. Beide Gruppen stimmten zu, dass sie ihre Kurse vorberieten. Der Mittelwert der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler liegt mit 2,09 allerdings wieder etwas höher als der der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler mit 1,54.
Ebenso gaben die Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler signifikant häufiger an, dass sie wenn möglich in ihren Lehrveranstaltungen verschiedene Sozialformen bevorzugen. Der Mittelwertunterschied beträgt hier mehr als einen Punkt auf der Skala (1,54 und 2,64). Dieses Ergebnis passt gut damit zusammen, dass sich die Promotionsstudierenden der Naturwissenschaften die Inhalte ihrer Lehrveranstaltungen nicht selbst erarbeiten. Es ist zu vermuten, dass auch die Art und Weise der Veranstaltung vorgegeben ist bzw. in den Arbeitsgruppen dementsprechend kommuniziert wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in vielen Items signifikante Unterschiede zwischen dem Antwortverhalten der Geisteswissenschaften und der Naturwissenschaften festgestellt werden konnten. Auch in den Items, die keine signifikanten Mittelwertunterschiede aufwiesen blieb die Tendenz erhalten, dass die Mittelwerte der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler höher liegen, als die der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler .Warum das so ist kann nur vermutet werden und bedarf noch weiterer Unetrsuchungen.Es deckt sich allerdings mit den Ergebnissen aus dem vorhergegangenen Abschnitt zum Thema „Sinn der Lehre“, in welchem die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler tendenziell häufiger negative Aspekte in Lehre sagen als die Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler. Grundsätzlich jedoch drückten beide Gruppen durch die hier vorgestellten Ergebnisse ein hohes Bewusstsein für ihre Lehrverpflichtung aus.

3.4.2.8 Interdisziplinarität in der Lehre

Kombiniert wurden die Themen Interdisziplinarität und Lehre im folgenden Abschnitt. Fünf Items fragten ab, inwieweit Interdisziplinarität eine Rolle für die Lehre der Doktorandinnen und Doktoranden spielt. Dabei wurde die selbe Skala wie im Abschnitt zuvor verwendet (sechsstufig, endverbalisiert mit zwei Extrema in Aussageform).

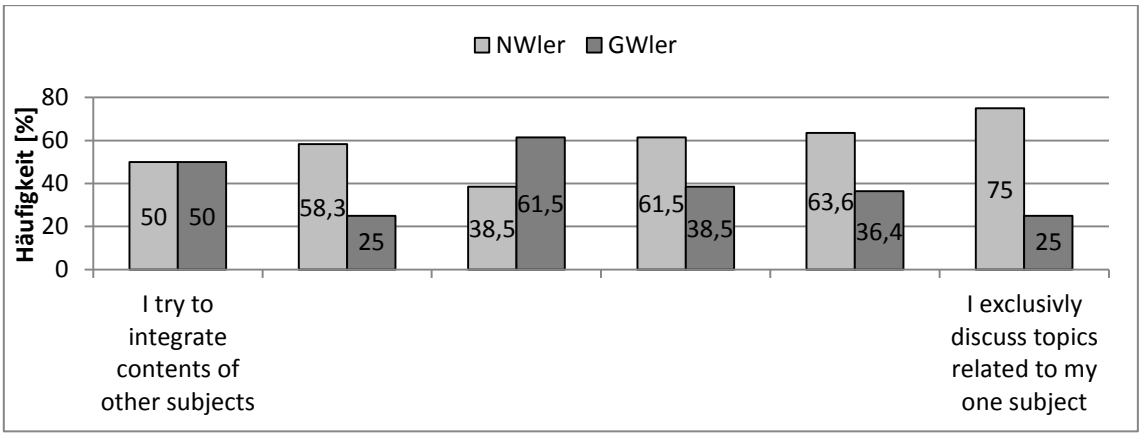


Abb. 122: Inhalte anderer Fächer in der Lehre

Der Vergleich der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler ergab folgendes Antwortmuster in Bezug auf Frage eins. Hier wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer gebeten zu beantwortet, ob sie Inhalte anderer Fächer in ihre Lehre integrieren oder nicht. Die Häufigkeiten in den folgenden Darstellungen sind innerhalb des Skalapunktes zu verstehen. Als Beispiel: 50% derjenigen, die Ausprägung 1 wählten, waren NaturwissenschaftlerInnen, 50% GeisteswissenschaftlerInnen. Insgesamt wählten für die erste Frage in diesem Block deutlich mehr Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler die Ausprägungen 4, 5 und 6, wie in der obige Abbildung dargestellt.

Die Mittelwerte der unterschiedlichen Gruppen lagen mit 3,55 für NaturwissenschaftlerInnen und mit 3,29 für GeisteswissenschaftlerInnen in einem ähnlichen Bereich. Tendenziell lehnten beide Gruppen die hier gestellte Frage nach dem integrieren von Inhalten eher ab, lagen also graphisch gehen weiter rechts.

Die nächste Frage bezog sich auf das Erstellen von Verknüpfungen zu anderen Fächern. Wie die folgende Abbildung zeig, sind 100% derer, die dies völlig ablehnten Naturwissenschaftlerinnen. Trotzdem sind die Werte der Skalenpunkte, die Zustimmung ausdrückten, also die drei linkten Punkte, durch eine größere Anzahl von Naturwissenschaftlerinnen repräsentiert. Hier könnte genauer untersucht werden, zu welchen Fächern die jeweiligen Gruppen Verknüpfungen herstellen.

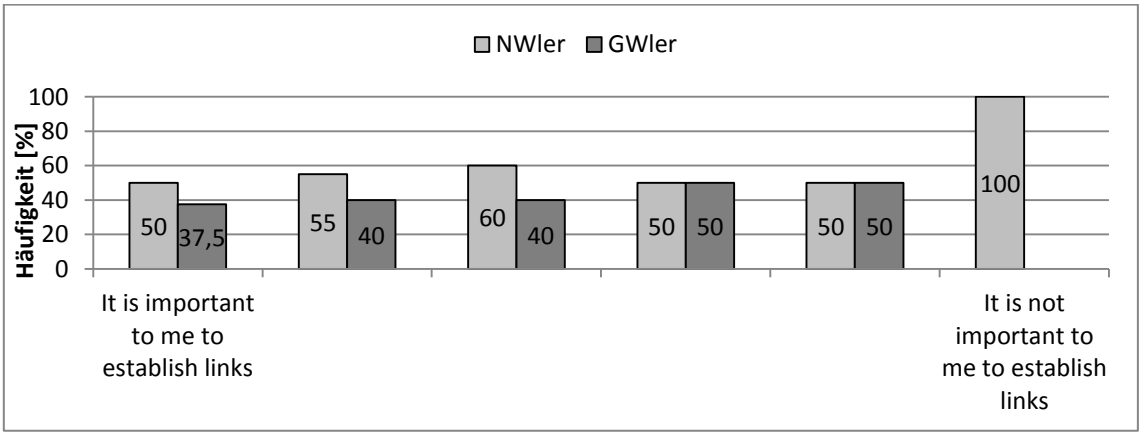


Abb. 123: Links zu anderen Fächern in der Lehre

Die Frage danach, ob es relevant ist, dass die Studierenden ein Thema in einem weiteren Zusammenhang sehen können, wurde von beiden Gruppen für wichtig gehalten. Die Ausprägungen fünf und sechs, die Ablehnung ausdrücken, wurden gar nicht gewählt. Die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler wählten am häufigsten die Ausprägung drei und vier. Damit drückten die Doktorandinnen und Doktoranden der Geisteswissenschaften eine höhere Zustimmung aus. Der Mittelwert der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler lag mit 2,30 nur tendenziell höher als der der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler mit 1,92.

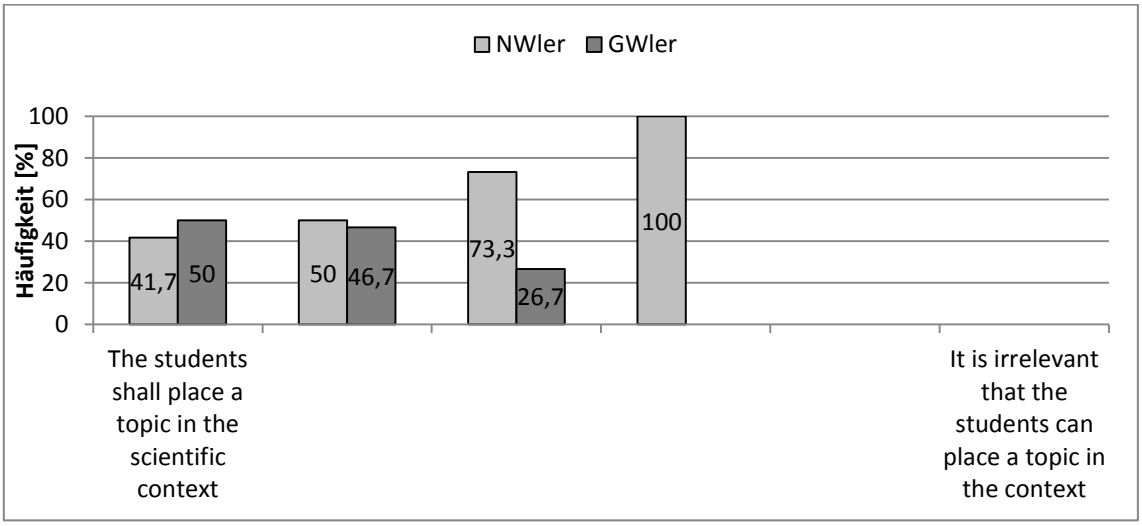


Abb. 124: Wissenschaftlicher Kontext

Des Weiteren wurde im folgenden Item danach gefragt, ob Interdisziplinarität wichtig ist für eine wissenschaftliche Ausbildung der Studierenden. Die Antworten der Geisteswissenschaftlerinnen bewegen sich hier in einem mittleren Bereich. Ausprägung 5 und 6 wurden gar nicht gewählt, Ausprägung 1 nur wenig. Der Mittelwert der NaturwissenschaftlerInnen liegt hier mit 2,30 nur tendenziell höher als der der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler mit 1,92.

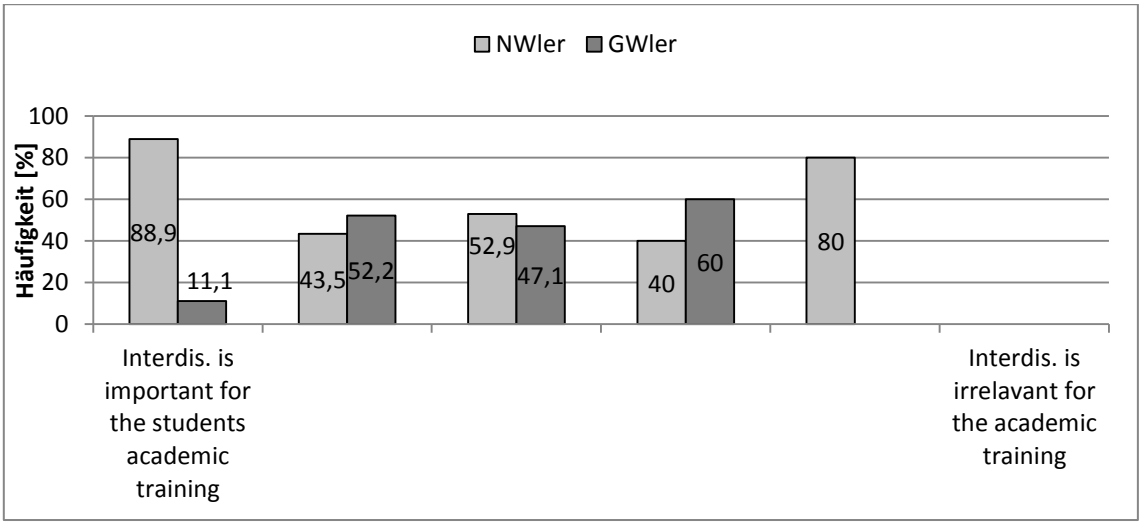


Abb. 125: Interdisziplinarität als Teil der akademischen Ausbildung

Zudem wurde die Frage diskutiert, ob die Doktorandinnen und Doktoranden versuchen die Vorurteile zu anderen Fächern zu reduzieren. Der Mittelwert der Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftler ist mit 2,29 wiederrum tendenziell niedriger als der der Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler mit 2,85. Sie stimmten dem also eher zu. Beide Mittelwerte liegen allerdings auf der linkten Seite der Zustimmung. Ausprägung sechs, also völlige Ablehnung wurde nur von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern gewählt. Ausprägung 1 zu 70% von Geisteswissenschaftlerinnen und Geisteswissenschaftlern.

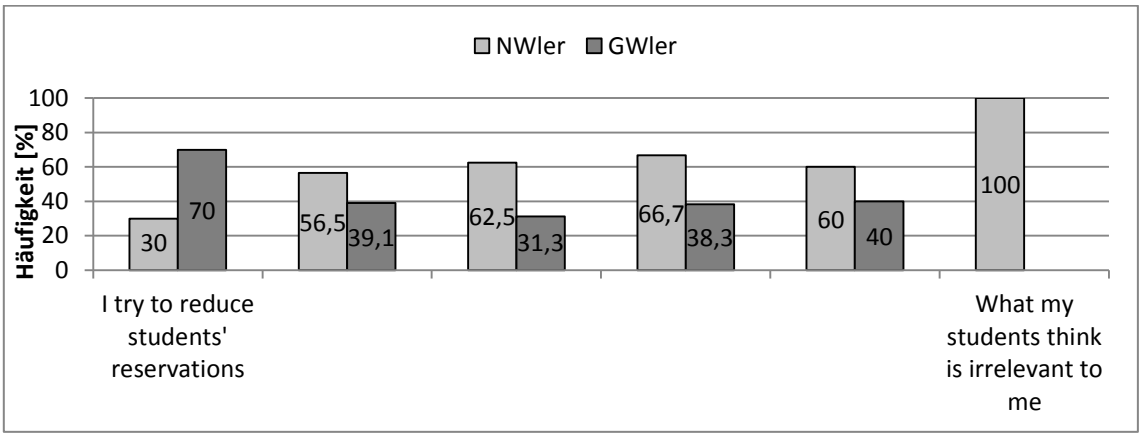


Abb. 126: Vorurteile verringern

3.5 Vergleich und Zusammenhänge der empirischen Erhebungen

Die bis her diskutieren empirischen Erhebungen sind als erste Einblick in die umfangreiche Thematik zu verstehen, welche innerhalb einer Forschungsarbeit natürlich nicht erschöpfend behandelt werden kann. An vielen Stellen sind Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Ebenen zu erkennen. Außerdem sind während der Bearbeitung neue Fragen aufgetreten. Beides soll im Folgenden diskutiert werden.

Die Lehrerinnen und Lehrer generieren sich letztendlich aus der Gruppe der Studierenden des Lehramts. Ober anders ausgedrückt: die Lehramtsstudierenden sind die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer. Beide Erhebungen konnten einen guten Einblick in die Zusammenhänge liefern. Um konkretere Ergebnisse für diesen Zusammenhang zu erhalten, müsste ebenfalls die zweite Ausbildungsphase, das Referendariat, untersucht werden. Im Sinne einer Langzeitstudie wäre es auch möglich, die Studierenden über einen längeren Zeitraum zu begleiten, idealerweise aus dem Studium heraus bis hin zur eigenständigen Lehrtätigkeit. Beim Vergleich der Studien wurde beobachtet, dass beispielsweise junge Lehrerinnen und Lehrer vergleichswiese wenig fächerübergreifenden Unterricht durchführen. Vielleicht kann man dies auch mit der Tatsache in Verbindung bringen, dass Lehramtsstudierende auch im Studium keine fächerübergreifenden Ansätze erlernen, oder diese Kompetenz nicht genügend trainieren können. Um weitere Erkenntnisse zu gewinne, wäre eine Erhebung unter Grundschullehrerinnen und Grundschullehrern von Vorteil, um die Ergebnisse mit denen der Gymnasialschullehrerinnen und Grundschullehrer zu vergleichen. Anschließend könnte ein Vergleich mit den Ergebnissen der Studierenden durchgeführt werden. Es wäre interessant zu beobachten, ob sich Einstellungen in Hinsicht auf die signifikant unterschiedlichen Werte der Studierenden bei eigener Lehrtätigkeit ändern.
Desweiteren braucht es eine größere Gruppe an Lehrerinnen und Lehrern, um herauszufinden, ob die Mittelwertunterschiede noch signifikant werden. Bei kleinen Gruppengrößen ist das tätigen solcher Aussagen nicht einfach, weshalb häufig eher von Tendenzen gesprochen werden kann. So könnte auch ermittelt werden, ob wirklich signifikant mehr fächerübergreifender Unterricht in naturwissenschaftlichen Fächern stattfindet, oder ob es bei der Tendenz bleibt, die durch die kleine Gruppe entstand.
Eine größere Gruppengröße würde auch helfen, um die Einstellungskategorien genauer zu untersuchen. Die hier vorgestellten Ergebnisse können nur für die befragten Lehrerinnen und Lehrer Gültigkeit haben, jedoch lässt sich kein Rückschluss auf eine Grundgesamtheit schließen. So könnte auch eine Kategorisierung zum Beispiel nach Fächern vorgenommen werden, um die jeweilige Relevanz von fächerübergreifendem Unterricht zu hinterfragen.
Abgesehen von neuen quantitativen Ansätzen, könnten sich weitere qualitative Studien anschließen. Die Frage nach dem „Warum“ blieb weitgehen unbeantwortet. Ebenso die Frage nach

dem „wie“ und dem „wann“. So könnte in Form von Unterrichtsbesuchen oder narrativ unterstützen Interviews erfragt werden, wann Interdisziplinarität in der Schule überhaupt Sinn macht und für welche Fächer sich ein besonderer Mehrwert einstellt. Vor allem wie genau fächerübergreifende Ansätze verwirklicht werden, scheint von besonderem Interesse. Hier können folgende Fragen im Vordergrund stehen wie:

- Welche Fachdidaktik findet Anwendung bei einem interdisziplinären Thema?
- Welche fachspezifischen Ziele werden verfolgt?
- Welche Kompetenzen sollen im speziellen geschult werden?
- Welchen Vorteil haben beide beteiligte Fächer?
- Welche Nachteile ergeben sich eventuell (durch das Verlassen der Spezialisierung)?

Solche Fragen können kaum im Rahmen quantitativer Studien erfasst werden, sondern bedürfen spezieller qualitativer Methodikern.

In Hinsicht auf die Studie unter Schülerinnen und Schülern wäre eine größere Gruppe an Hauptschülerinnen und Hauptschülern wünschenswert. Des Weiteren wäre es interessant, zwischen G8 und nicht G8 Jahrgängen zu differenzieren.
Auch hier ließen sich qualitative Ansätze gut umsetzen. Zum Beispiel durch Interviews mit den Schülerinnen und Schülern nach einer Stunde in der explizit fächerübergreifend unterrichtet wurde. Auch in Hinsicht auf die Frage nach den Lieblingsfächern könnten Interviews hilfreich sein. Folgende Fragen könnten beispielsweise untersucht werden:

- Welche Fächer werden als Lieblingsfächer eventuell wegen einem niedrigen Arbeitsaufwand angegeben?
- Welche Einstellung zu einem Fach haben die Schülerinnen und Schüler vor dessen Einführung (zum Beispiel in der siebten Klasse, bevor der Chemieunterricht beginnt)? Was erwarten sie, was auf sie zukommen wird?
- Welche Vorurteile und Meinungen anderer generieren bestimmte Vorlieben bei Fächern?
- Welche Interessen führen zu der Wahl bestimmter Lieblingsfächer? Gibt es eventuell verwandte Interessen im persönlichen Bereich?

Des Weiteren wäre es möglich die Schulnoten aus den Zeugnissen zu vergleichen und an einer großen Gruppe zu untersuchen, ob eine schlechte Englischnote signifikant mit einer guten Mathematiknote einhergeht.
In Hinsicht auf die zuordnenden Themen könnte ein weiterführender Vergleich mit den Lehrplänen hilfreich sein. Manche Themen sind eher Randthemen im Unterricht. Trotzdem könnte man bei einer weiteren Studie die Lehrerinnen und Lehrer bitten, diese Themen ebenfalls Fächern zuzuordnen, um dieses Ergebnis mit dem der Schülerinnen und Schüler zu vergleichen.

Um einen besseren Übergang zu der Lehre an der Universität zu schaffen, sollten die Doktorandinnen und Doktoranden ausgewählt werden, die tatsächlich Lehramtsstudierende

unterrichten. Wahrscheinlich könnte es Hindernisse geben, wenn man einen Einblick in verschiedene Arbeitsgruppen und deren Umgang mit Lehre gewinnen möchte. Trotzdem wäre es interessant zu untersuchen, wie der Stellenwert von Lehre innerhalb von Arbeitsgruppen kommuniziert wird und wie die Arbeitsaufträge für Lehre von Professoren und Professorinnen an ihre MitarbeiterInnen weiter gegeben werden. Besonders in Gießen würde sich eine weiterführende Studie innerhalb der Doktorandinnen und Doktoranden anbieten, welche sich hochschuldidaktisch weiterbilden.
In Hinsicht auf die Interdisziplinarität in der Forschung wäre es denkbar, einige Promotionsarbeiten mit konkret interdisziplinärem Ansatz auszuwählen, um so einen Einblick zu gewinnen, wie interdisziplinäres Arbeiten in der Praxis tatsächlich in Abhängigkeit vom Fachbereich aussieht.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die hier vorgestellten Studien einen guten Einblick in das Thema Interdisziplinarität im Rahmen von Schule und Universität liefern. Die in Abschnitt 1.3 gestellten Forschungsfragen konnten beantwortet werden (vgl. Kapitel 5). Die angewendeten Methoden haben sich als geeignet erwiesen, um die Forschungsfragen zu beantworten. So kann diese Arbeit eine gute quantitative Basis bieten, auf der weitere, vor allem qualitative Forschung unternommen werden kann. Dabei kann vor allem die Frage nach der konkreten Didaktik im Raum stehen. Wie genau vollzieht sich fächerübergreifender Unterricht im Einzelnen? Welche Methoden kommen zum Einsatz und in welcher Fachsprache wird kommuniziert?

Die Vielzahl an Fragen, die sich auf dem Boden dieser Arbeit stellen, ist durchaus positiv zu bewerten. Es ergaben sich interessante Einblicke und es konnten Thesen entwickelt werden, die im wissenschaftlichen Diskurs durchaus von Belang sein können. Das breite Feld der überdisziplinären Didaktik im schulischen und hochschulischen Kontext wird in Zukunft immer mehr Raum einnehmen. Mit Hilfe der vorliegenden Arbeit konnten erste Fragen zur genannten Thematik geklärt und weitere interessante und zu vertiefende Gebiete aufgedeckt werden.

Kapitel 4

Planungsebene empirischer Didaktik: Material für den Unterricht

In diesem Kapitel werden konkrete Unetrrichtsentwürfe für fächerübergreifenden Unterricht anhand zweier Beispielthemen vorgestellt. Das erste Thema beschäftigt sich mit Energie, ist also ein eher naturwissenschaftliches Thema, was hier mit ethischen Implikationen angereichert wird. Als zweites wird das Thema der Wissenschaftsethik behandelt, ein Thema also, dass dem Ethikunterricht entstammt und durch konkrete naturwissenschaftliche Bezüge für den fächerübergeifenden Unterricht aufbereitet wird.

Das Projekt „EnergEthik“ wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und in großen Teilen an der Justus-Liebig-Universität umgesetzt.

Das Unterrichtsmodell „Wissenschaftsethik“ wurde in Zusammenarbeit mit dem Schöningh Verlag erarbeitet und auch dort publiziert (Herausgeber: H. Franzen; Coautorenschaft: O. Schierhorn).

4.1 EnergEthik

4.1.1 Projektbeschreibung und Projektziele

Woher kommt die Energie der Zukunft? Das ist eine Frage, die heute in aller Munde ist. Die Medien thematisieren alternative Energien ebenso wie die Stromrechnung, die in regelmäßigen Abständen die Konten der Nutzer schmälert. Was soll also geschehen, damit Menschen auch zukünftig mit Energie versorgt werden, Energie aber kein Luxusprodukt wird? Und allem voran: Wie schafft man es, Energie zu liefern, ohne die Natur den Abfallprodukten auszuliefern.

Um sich der Thematik „Energie der Zukunft“ zu nähern, gibt es zwei verschiedene Ansatz-punkte. Zum einen liegen naturwissenschaftliche Inhalte zu Grunde, zum anderen ist Energie ein Problem, dass nicht ausschließlich die wissenschaftliche Grundlagenforschung tangiert. Vielmehr begegnet uns Energie im Alltag und wird so zu einem gesellschaftlich relevanten Thema. Das heißt also, dass Energie nicht nur auf die Naturwissenschaft beschränkt werden kann, sondern ebenso gesellschaftlich und ökonomisch beleuchtet werden muss.

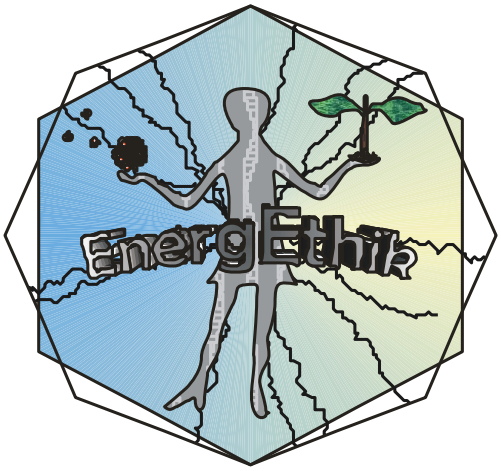


Abb. 127: Logo des EnergEthik Projekts

Das Projekt EnergEthik liefert Ansätze zum Thema „Energie der Zukunft“ aus verschiedenen Disziplinen. Auf der einen Seite sollen naturwissenschaftliche Inhalte dargelegt und allgemein verständlich gemacht werden. Es geht aber nicht nur um die pure, technische Funktionsweise sondern auch um die Fragen nach den Konsequenzen. Dabei sollen jedoch die ethischen Fragestellungen nicht nur als Anhängsel betrachtet werden. Das Projekt ist nicht ausgewiesen rein natur- oder geisteswissenschaftlich. Vielmehr sollen sowohl die naturwissenschaftlichen Grundlagen als auch die ethischen Fragestellungen als essentiell und wegweisend dargestellt werden. Das Projekt EnergEthik soll dazu dienen, eine breite Öffentlichkeit mit naturwissenschaftlichen Fakten und ethischen Fragestellungen zum Thema Energie zu konfrontieren. Das Ziel ist also zum einen Energie mit all ihren Facetten präsenter und

transparenter zu machen. Zum anderen soll in diesem Zuge das interdisziplinäre Arbeiten gefördert werden.

Diese Ziele im Auge, wird sich die Frage gestellt, welche Plattform am geeignetsten ist, um für das Thema Energie zu begeistern und Menschen dazu zu veranlassen, eigene Urteile zu generieren. In welches Umfeld passt also die naturwissenschaftliche und ethischen Diskussion über Energie und an welchem Ort würde interdisziplinäres Arbeiten nur vorteilhafte Auswirkungen haben?
Nach diesen Vorüberlegungen wurde das Projekt EnergEthik stark auf die Schule ausgerichtet. Dort werden Schülerinnen und Schüler schon jetzt in ausgewählten Fächern mit verschiedenen Energieformen konfrontiert und dort werden oft auch ethische Fragestellungen zu diesem Thema behandelt. Allerdings lernen Schülerinnen und Schüler schon sehr früh, das Getrenntsein der Fächer zu respektieren und sie als nicht zusammen gehörig zu betrachten. Aber sind die Inhalte des Ethik- und die des naturwissenschaftlichen Unterrichts wirklich so unterschiedlich? Und kann man das Thema der Energie eigentlich auf ein Fach reduzieren und naturwissenschaftliche Inhalte strikt von ethischen Fragestellungen trennen? Auch wenn man durchaus verschiedene Aspekte des Energieproblems getrennt betrachten kann, macht es doch keinen Sinn das gesamte Themengebiet auf ein Fach zu beschränken. Die Schule ist einer der Orte, an dem verschiedene Disziplinen zweckmäßig voneinander getrennt werden müssen. Trotzdem ist interdisziplinäres Arbeiten immer mehr gefragt.

Die Schule bietet also die angemessenen Grundvoraussetzungen für die Umsetzung dieses Projekts. Zudem steht Schule an sich immer schon im Fokus der Öffentlichkeit. Dort werden genau die Menschen erreicht, die mit dem Problem der Energiegewinnung der Zukunft und mit den vielen verschiedenen Möglichkeiten der Energiegewinnung zu kämpfen haben werden. Immerhin handelt es sich, wie der Name schon sagt, nicht um ein Problem, dass von heute auf morgen aus der Welt geschafft werden kann. Energie als gesellschaftlich mehr als relevantes Thema geht die folgenden Generationen genauso an, wie die jetzigen. Und dabei ist es nicht nur relevant, dass Schülerinnen und Schüler die naturwissenschaftlichen Grundlagen kennen lernen, sondern dass sich junge Menschen auch darüber Gedanken machen, wer die Verantwortung für die zukünftige Energie übernimmt und welche politischen und gesellschaftlichen Konsequenzen resultieren könnten.

Es handelt sich also um folgendes Ziel: Das gesellschaftlich, wissenschaftlich und ethisch relevante Thema der zukünftigen Energieversorgung soll in der Schule interdisziplinär behandelt und schließlich einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

4.1.1.1 Der fachwissenschaftliche Inhalt

Natürlich gibt es eine Vielzahl verschiedenster Ansätze, das Problem der Energieversorgung in der Zukunft zu lösen. Energie wird nicht nur in der Öffentlichkeit, sondern auch in der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung diskutiert. Diese Tatsache führt dazu, dass die verschiedenen Formen der Energiegewinnung immer vielfältiger werden. Diese Vielfalt lässt sich wohl kaum in Gänze und allumfassend behandeln. Daher werden aus diesem Pool zunächst vier verschiedene Methoden ausgewählt, die zur Energieerzeugung dienen. Diese Wahl dient als erste Richtlinie und wird im Laufe des Projekts auch erweitert werden können.

1. Fossile Brennstoffe

Im Fokus der Aufmerksamkeit stehen momentan vor allem alternative Energien. Klassische Energieträger wie zum Beispiel fossile Brennstoffe haben allerdings nicht an Bedeutung verloren, auch wenn sie von den Medien bislang immer mehr als „Umweltsünder“ dargestellt werden, die dringend abzuschaffen sind. Dementsprechend entwickelt sich die öffentliche Meinung, was das Verbrennen von Erdöl, Erdgas und Kohle betrifft. Umweltpolitisch scheint also eine Meinung gefunden zu sein. Gesellschaftich präsentiert sich das Problem allerdings vielschichtiger, wenn man beispielsweise bedenkt wie viele Arbeitsplätze allein vom Kohlebergbau abhängen. Was würde also passieren, wenn man die Kohleindustrie abschaffen würde? Und was passiert tatsächlich, wenn man es nicht tut? Welcher Schaden entsteht für die Umwelt und welche Konsequenzen hat die Gesellschaft zu tragen?

2. Kernenergie

Umweltschutz beschränkt sich allerdings nicht auf die Reduzierung giftiger und klimaaktiver Stoffe. Die Vergangenheit hat gezeigt, welche Gefahren von Atomkraftwerken ausgehen können. Dabei scheint die Kernkraft als klassische Methode der Energiegewinnung doch zunächst keine größeren Auswirkungen auf Kima und Umwelt zu nehmen. Atomkraft hat aber in der Vergangenheit einen unangenehmen Beigeschmack erhalten, erinnert das Thema doch allzu sehr an die kriegerische Nutzung. Die Kernkraftgegner sind in der Öffentlichkeit präsent und prägen das Meinungsbild. Aber der naturwissenschaftliche Hintergrund bildet die Basis für eine fundierte Diskussion und ist Grundlage des Gesamtkontextes. Es ist daher für Atomkraftgegner unabdinglich, sich mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen zu beschäftigen ebenso wie es für Befürworter essentiell ist, ethische Aspekte anzudenken.

3. Nachwachsende Rohstoffe

Zur Gruppe der alternativen Energien zählen zudem die nachwachsenden Rohstoffe. Pflanzen können immerhin wieder und wieder ausgesät und verbrannt werden. Das klingt vielleicht auf den ersten Blick vielversprechend, wirft aber nicht nur eine Frage auf. Zum einen stoßen Verbrennungsprozesse auch dann Treibhausgase aus, wenn es sich bei dem Verbrennungsmaterial nicht um Kohle oder Öl handelt. Zum anderen stellt sich die Frage, ob man Lebensmittel verbrennen

sollte, wenn doch jeden Tag Kinder verhungern. Wem steht also die pflanzliche Kost zu und welche Bedeutung haben Lebensmittel im Verständnis eines Mitteleuropäers, wenn man sie im Austausch mit einem laufenden Fernseher verbrennt?

4. Brennstoffzellen

Als Möglichkeit einer alternativen Energieerzeugung wurde in der nahen Vergangenheit die Brennstoffzelle immer populärer. Wenn Sauerstoff und Wasserstoff dazu verwendet werden können, Energie zu erzeugen und als Abfallprodukt nur Wasser entsteht, hört sich das zuerst verlockend an. Zwar sind uns die Gase zugänglich, allerdings stehen sie uns nicht kostenlos zur Verfügung wie zum Beispiel das Sonnenlicht. Das heißt also, dass der eigentliche Energieträger auch noch gewonnen werden muss. Wie viel Energie kostet diese Darstellung und welche Abfallprodukte entstehen bei der Synthese der Edukte wirklich? Ist der Energieträger erst einmal erzeugt, stellt sich aber wieder die Frage des Transports. Es gilt die weit verbreitete Meinung, dass Wasserstoffzellen automatisch zur Folge haben, dass gefährliche Gasbomben befördert werden müssen. Wie sieht aber die Realität aus?

Die ethischen Fragestellungen sind also genauso vielfältig wie die Methoden der Energiegewinnung. Die Menge an Techniken stellt den Menschen vor die Wahl: Welche Form der Energiegewinnung ist ökologisch, ökonomisch, ethisch und auf lange Sicht die Beste? Auf diese Fragen gibt es bislang keine eindeutige Antwort. Aber in der heutigen Zeit wird es zunehmend wichtiger, sich mit den kurz umrissenen Fragestellungen auseinander zu setzen und sich eine persönliche Meinung zu bilden. Dabei bieten fossile Brennstoffe und die Kernkraft ebenso viel Gesprächsstoff wie alternative Energien.

Allerdings ist die Frage nach der Energiegewinnung alleine nicht ausreichend, um das Problem in Gänze zu überblicken. Energie zu gewinnen, stellt zwar die Voraussetzung dar, aber was geschieht mit der gewonnenen Energie? In den seltensten Fällen wird die Energie direkt nach der Gewinnung auch verbraucht. Die nächste Abbildung veranschaulicht den Weg der Energie von der Gewinnung bis zum Verbrauch. Energie, die auf verschiedenste Weisen gewonnen wird, muss in den meisten Fällen gespeichert und anschließend transportiert werden. Das bedeutet zum Beispiel die Sonnenstrahlung so umzuwandeln, dass ihre Energie speicherbar wird. Das Anbauen von Nutzpflanzen oder die Darstellung von Wasserstoff entsprechen ebenfalls Prozessen zur Generierung speicherbarer Energieträger.
Die dementsprechend umgewandelte Energie muss anschließend transportiert werden, um zum Verbraucher zu gelangen. Am Beispiel der Solarenergie ist ersichtlich, dass gerade der Transport vom Erzeugungsort aus nicht gerade unproblematisch ist. Ebenso verhält es sich beim Transport des Energieträgers Wasserstoff.

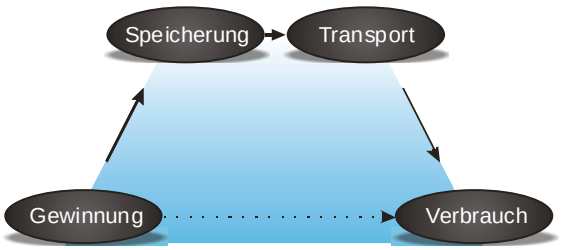


Abb. 128: Energiegewinnung

Wie man sieht, laufen die in der gezeigten Abbildung dargestellten Schritte nicht ohne Probleme ab. Es kommt die Frage auf, ob es lohnenswert ist, Energie zu Hause ganz privat zu erzeugen, genau dort, wo sie auch gebraucht wird. Doch in den meisten Fällen wird beispielsweise die über Solartechnik erzeugte Energie wieder in das Stromnetz eingespeist und der Privatmann wird automatisch zum Unternehmer. Techniken, die es erlauben Energie zu produzieren und auch selbst zu verbrauchen stehen derzeit hoch im Kurs. Techniken, die nicht gerade kostengünstig und zudem auch materialaufwendig sind. Techniken, mit deren Funktion sowie der Kosten-Nutzen-Abschätzung nur ein Fachmann nicht überfordert ist.

Wie man sieht, hört das „Problem der Energie unserer Zukunft“ nicht da auf, wo Energie gewonnen wird. Tatsächlich pflanzt es sich stattdessen immer weiter fort. Jede der oben erwähnten Formen der Energiegewinnung, bringt unterschiedliche Probleme im Bereich Energiespeicherung und Energietransport hervor. Es gibt also keinen allgemeingültigen Lösungsansatz, den man wie eine Schablone anlegen könnte. Jede Energieform bedarf ihrer eigenen Betrachtung. Jede Energieform liefert eigene ethische Fragestellungen zu den Bereichen Energiegewinnung, Energiespeicherung, Energietransport bis hin zum Energieverbrauch. Dieser Tatsache ist es zu verdanken, dass nicht nur klassische Techniken wie die Kernkraft Potential für ethische Diskussionen liefern. Energie zu gewinnen ist nur der erste Schritt, aber der Prozess muss bis zum Verbraucher weiter gedacht werden.

4.1.1.2 Projektidee

Bis dahin scheint das Projekt EnergEthik nichts Neues vorzustellen. Alle moralischen Bedenken wurden in der Vergangenheit schon geäußert, alle genannten Techniken sind bereits bekannt. Was ist also das besondere an dem Vorhaben?

Zum Einen liegt die Besonderheit in der Gleichstellung von Natur- und Geisteswissenschaft. Unter dem Punkt „Kooperationspartner“ wird noch näher ausgeführt werden, dass Partner verschiedener Disziplinen engagiert sind, die Kommunikation im interdisziplinären Bereich zu fördern. Es handelt sich also nicht um ein reines naturwissenschaftliches Projekt mit ethischen Auswüchsen und auch nicht um ein moralisches Konstrukt, das sich eben mit naturwissenschaftlichen Inhalten beschäftigt. Die Gleichberechtigung steht im Vordergrund. Es soll festgehalten werden, dass beide Disziplinen gleich-wichtig und gleich-berechtigt sind. Das heißt: EnergEthik stellt keine vorgefertigte Meinung

vor. Vielmehr soll zum selbständigen Nachdenken angeregt werden. Gerade heute ist es gesellschaftlich besonders wichtig, sich mit dem Thema Energie der Zukunft zu beschäftigen und persönlich Stellung nehmen zu können. Oft stützen sich Meinungen allerdings auf Informationen aus den Medien, die oftmals einseitig aufbereitet sind. Natürlich ist eine Meinungsbildung ohne Input nicht möglich. Wir wollen es möglich machen, den Input so neutral wie möglich zu halten und dabei das Material trotzdem wissenschaftlich fundiert zu gestalten.

Eine zweite Besonderheit des Projekts liegt in der Ausführung. Das Thema „Energie der Zukunft“ wird nicht nur in allen Tageszeitungen zur Sprache gebracht. Es ist längst in der Schule angekommen. Schon lange beschäftigen sich Lehrerinnen und Lehrer vor allem im naturwissenschaftlichen Unterricht mit dem Thema Energiegewinnung. Allerdings ist der Rahmen für derartige Themen oft sehr knapp bemessen, obwohl die Energie der Zukunft auch im Umfeld der Schülerinnen und Schüler immer wichtiger wird. Gerade für Kinder und Jugendliche ist es wichtig, sich mit Fragestellungen die Energie betreffend auseinander zu setzen. Immerhin sind sie die Energienutzer von morgen. Um das Thema allerdings einer noch breiteren Öffentlichkeit zugängig zu machen, werden die Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse präsentieren. Diese Ergebnisse können ganz unterschiedlich aussehen, immerhin werden keine gültige Antwort vorgegeben oder eine Meinung postuliert, die nur noch ab zunicken wäre.

4.1.1.3 Die Zielgruppe

Die Zielgruppe des Projekts EnergEthik sind vor allem Schüler und Schülerinnen der Sekundarstufe I und II. Der Bezug zur Schule wird hier nicht nur gewählt, um die Altersgruppen einzugrenzen, sondern das Projekt wird auch in der Schule durchgeführt werden. Das heißt konkret: Schülerinnen und Schüler werden in der Schule mit der Thematik „Energie der Zukunft“ konfrontiert. Hier lernen die Schülerinnen und Schüler also nicht im naturwissenschaftlichen Unterricht, was Kernkraft ist und diskutieren anschließend im Ethikunterricht über Kernkraftwerke, sondern treffen auf eine kombinierte Fragestellung aus zwei Fachbereichen, die ihnen veranschaulichen soll, dass Fächer und Fachinhalte nicht isoliert voneinander betrachtet werden können. Die fächerübergreifende Kommunikation und das interdisziplinäre Unterrichten soll im Vordergrund stehen. Die Schülerinnen und Schüler werden des Weiteren an die Justus-Liebig-Universität eingeladen, können Experimentalvorlesungen besuchen sowie im Schülerlabor unter Anleitung experimentieren.

4.1.1.4 Einbindung der Schülerinnen und Schüler

Unter „Schüler fragen - Schüler antworten“ versteht sich ein äußerst innovatives Konzept, dass es den Schülerinnen und Schülern sowohl erlaubt Fragen zu stellen, als auch sich selbst und kreativ

Gedanken zu den Fragestellungen zu machen. Antworten sollen nicht vorgegeben, Meinungen nicht als vorgefertigtes Angebot vorgestellt werden.
Im ersten Schritt werden Schülerinnen und Schüler interviewt. Kinder und Jugendliche haben selbst oft schon sehr ausgeprägte Ideen und Gedanken zu populären Themen wie der Energiediskussion. Darum sollen sie auch die Fragen stellen, deren Antworten sie wirklich interessieren. Das heißt konkret, die Schülerinnen und Schüler formulieren im Vorfeld konkrete Fragen zum Thema „Energie und Zukunft".

Um den Gleichberechtigungsgedanken wieder in den Vordergrund zu stellen, wird die Umfrage zum einen in unterschiedlichen Jahrgangsstufen und zum anderen sowohl in naturwissenschaftlichen Fächern (Chemie, Physik oder Biologie) als auch im Ethik- oder Religionsunterricht durchgeführt. So kann auf der einen Seite ganz altersbezogen darauf eingegangen werden, welche Dinge die Schülerinnen und Schüler in einem bestimmten Alter bewegen. Andererseits wird man beobachten können, welche Auswirkungen es hat, wenn man eine recht offene Frage in verschiedenen Fächern stellt. Die Schülerinnen und Schüler sind besonders von der Vorstellung geprägt, dass Geisteswissenschaftliches nicht in den Chemieunterricht gehört. Genauso haben sie konkrete Vorstellungen davon, was der Lehrer wohl von ihnen hören will, wenn er in Physik nach Energie fragt. Die von den Schülerinnen und Schülern entwickelten Fragen werden anschließend eingesammelt und ausgewertet. Sie dienen als Grundlage für die folgenden Schritte.

Damit Schülerinnen und Schüler antworten können, brauchen sie natürlich eine Art Input zu einem Thema. Das heißt, dass es Material geben muss, welches die Lehrkraft an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben kann. Material, das nicht nur aus Arbeitsblättern besteht, in die Fachwissen reproduziert werden muss. Es geht viel mehr um einen viel allgemeineren Input, mit dessen Hilfe sich die Schülerinnen und Schüler sowohl Fachwissen als auch eine Meinung aneignen können.

4.1.1.5 Das Schülerlabor, die Kinder-Uni und Kooperartionspartner

Das Schülerlabor bietet die Möglichkeit, über mehrere Stunden hinweg intensiv an Experimenten zu arbeiten und mit Material zu experimentieren, welches den Schulen so oft nicht zur Verfügung steht. Die Laboratorien sind gut ausgestattet und werden oft von Schulkassen zu anderen Themen besucht. Die Kinder-Uni bezeichnet man als Vorlesungen für Kinder. Es sollen in diesem Rahmen Experimentalvorlesungen angeboten werden, die zum Mitmachen und Nachdenken anregen. Diese Vorlesungen werden öffentlich sein und von den Schülerinnen und Schülern mitgestaltet werden.

Das Projekt EnergEthik wird von der Justus-Liebig-Universität eingereicht. An der Ausführung beteiligt sind Herr Prof. Dr. Göttlich aus der organischen Chemie, Herr Prof. Dr. Schindler aus der anorganischen Chemie sowie Herr Dr. Achtner, Hochschulpfarrer und Dozent im theologischen Institut der Universität.

Für die Abschlussveranstaltung planen wir Gastredner aus Industrie und Forschung einzuladen.
Die Lehramtsstudenten im Fach Chemie sind an der Justus-Liebig-Universität Gießen ohnehin stark im Schülerlabor engagiert. Hierfür wurde Herrn Prof. Göttlich und Herrn Prof. Schindler erst 2009 der hessische Hochschulpreis für exzellente Lehre verliehen. Diese guten Rahmenbedingungen sollen vom EnergEthik Projekt genutzt werden.

4.1.1.6 Ziele

Primär soll natürlich angeregt werden, über das Thema „Energie in der Zukunft“ zu reflektieren und neutrale Grundlagen für angeregt Diskussionen geliefert werden. Vor allem soll dieses Nachdenken interdisziplinär geschehen. Schülerinnen und Schüler sollen lernen, nicht durch Rahmenbedingungen polarisiert auf ein bestimmtes Thema zu schauen. Eine allgemeine Offenheit gegenüber anderen Meinungen und ein unbefangenes Herangehen an ein neues Thema soll gefördert werden. Das Problem der Energie der Zukunft wird nicht von einer bestimmten Fachrichtung gelöst werden können. Dieses Verständnis soll auch den Schülerinnen und Schülern vermitteln und schließlich an die Öffentlichkeit gebracht werden. Das Problem der Energie liegt nicht nur bei den Naturwissenschaftlern, während die Verantwortung für die Folgen auch nicht alleine den Ethikern zuzuschreiben ist.
Dabei ist ganz sicher nicht das Ziel alle Schülerinnen und Schüler auf einen Nenner zu bringen. Am Schluss soll nicht jeder dasselbe Wissen und dieselbe Meinung zu einem bestimmten Thema haben. Die allgemeine Bildung im Bereich Energiehaushalt, Ressourcenverbrauch und Verantwortung im politischen und gesellschaftlichen Bereich soll genauso gefördert werden wie das Verständnis für grundlegende naturwissenschaftliche Vorgänge.

4.1.2 Reflexion des Schülerlabors

Station 1: Unkonventionelle Ölquellen

Die prognostizierte Knappheit des Öls führt zu der Überlegung, welche anderen Ölquellen abgesehen von herkömmlichen Ölvorkommen ausgebeutet werden können. Um Überlegungen in diese Richtung anzustellen, erhielten die SuS ein Stück Ölschiefer und ein Becherglas, in dem Öl mit Sand versetzt wurde (Ölsand). Ölschiefer und Ölsande beinhalten viel Erdöl, dass auf spezielle Weise regeneriert werden kann, um es nutzbar zu machen. Allerdings ist die Umweltbelastung durch die Förderung solcher unkonventionellen Öle erheblich, was auf die Verfahren zurück zu führen ist.
In diesem Versuch sollen den SuS folgende Sachverhalte näher gebracht werden:

- Öl wird nicht nur flüssig aus der Erde gepumpt.
- Es ist schwierig unkonventionelle Ölquellen zu erschöpfen.
- Tiefseeöl ist eine unkonventionelle Ölquelle. Es ist nicht einfach es zu fördern.

Dazu erhielten die SuS folgende Versuchsanleitung:

Öl kann aus verschiedenen Vorkommen geschöpft werden. Am einfachsten ist es eine Ölblase anzustechen, in denen der Druck so groß ist, dass das Öl von selbst an die Oberfläche kommt. Aber es gibt auch anderen Ölquellen, die für gewöhnlich nicht in die Rechnungen mit einbezogen werden.
An eurem Platz findet ihr zwei unkonventionelle Ölquellen, die ihr untersuchen könnt.

Stellt euch vor, ihr sollte das Öl aus dem Ölsand oder dem Ölschiefer gewinnen. Wie würdet ihr vorgehen? Welche Probleme könnten auftreten?

Eine weitere unkonventionelle Ölquelle ist das Tiefseeöl. Welche Probleme können beim Fördern dieses Öls auftreten?

Die SuS stellten Überlegungen an, wie man das im Ölschiefer und Ölsand enthaltene Öl abtrennen könnte. Dabei untersuchten sie die Materialien auf ihre Zusammensetzung und entwickelten verschiedene Methode. Filtrieren, Pressen und Extrahieren waren in diesem Zusammenhang häufig genannte Möglichkeiten. Der Unterschied zur traditionellen Ölgewinnung wurde dabei unmittelbar klar und von den SuS auch so formuliert. Die Gewinnung solch unkonventionellen Öls erfordert eine Menge Energie, zum Beispiel beim Pressen von Ölschiefer. Auf der anderen Seite bleiben Abfallprodukte zurück. Außerdem stellten die SuS Überlegungen zum Einsatz von Chemikalien an, die für eine Extraktion herangezogen werden könnten.
Die zweite Aufgabe bezog sich ebenso auf unkonventionelle Ölquellen, war aber weitestgehend theoretisch und forderte von den SuS Transferleistungen. Es ist problematisch Tiefseeöl in einem Experiment zu thematisieren. Der apparative Aufwand für ein geeignetes Modell wäre entsprechend hoch. Die Beantwortung der Frage bezüglich der Probleme bei der Förderung von

Tiefseeöl verlangte von den SuS sich zunächst darüber klar zu werden, dass Tiefseeöl zu den unkonventionellen Ölen gehört. Schließlich mussten die SuS ihr Vorwissen darüber aktivieren, wie Tiefseeöl gefördert wird. Ist dieses Wissen nicht vorhanden, mussten sie Überlegungen anstellen, wie man Tiefseeöl fördern könnte. In jedem Fall trat so die Frage ans Tageslicht, wie man die Umwelt (das biologische System Meer) vor dem Öl schützen könne. Kurz vor der Durchführung des Praktikums wurde in den Medien die Ölkatastrophe im Golf von Mexiko diskutiert. Dieser aktuelle Aspekt wurde von den SuS aufgegriffen und in die Beantwortung der Frage mit eingebunden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz des geringen apparativen Aufwands ein Lernerfolg bei den SuS erzielt werden konnte. Das Material machte anschaulich die Problematik sichtbar und die SuS entwickelten selbstständige Problemlösungen. Auch wenn im Rahmen dieses Versuchs nicht viel experimentiert wurde, so wurden doch die Probleme bei der Gewinnung von unkonventionellem Öl klarer. Die Materialein dienten als stiller Impuls und wurden von den SuS gut angenommen und untersucht. Durch die Auseinandersetzung mit dem Thema auf theoretischer und sichtbarer Ebene, konnten die SuS eigenständige Gedanken entwickeln und formulieren. Die naturwissenschaftlichen Grundlagen, also das „Was ist das“ wurde durch die stillen Impulse vermittelt. Die SuS konnten so einen Eindruck gewinnen, um was es sich bei unkonventionellen Ölquellen handelt. Ergänzt wurde dieses Wissen durch die Frage bezüglich der Tiefseeöle. Die Ausrichtung der Fragen war jedoch nicht nur rein naturwissenschaftlicher Natur. Obwohl nach einer Möglichkeit gefragt wurde, wie das Öl entfernt werden könne, bezog sich der Leitgedanke auf die daraus entstehende Problematik und schnitt so umweltethische Aspekte an.

Station 2: Ende mit dem Öl?

Ob das Öl nun knapp wird oder nicht – dazu kann man unterschiedliche Meinungen einholen. In diesem Zusammenhang spiel der Unterschied zwischen Reserve und Ressource eine entscheidende Rolle. Den Berechnungen liegen im Allgemeinen die Reserven zugrunde, also die Ölvorkommen, die schon nachgewiesen sind. Differenzen, wann und ob das Erdöl ausgehen wird gibt es immer dann, wenn die Ressourcen, also die Ölfelder die geologisch vermutet werden, mit einbezogen werden. Weitere Unklarheiten entstehen durch den Bezug auf unkonventionellen Ölquellen. Aber wie auch immer die Realität aussehen mag, ist es grundsätzlich wichtig, auf die Problematik hinzuweisen. Dabei soll ein einzelner Versuch keine lückenfreie Aufdeckung verschaffen, sondern lediglich für das Thema sensibilisieren.

In diesem Versuch sollen sich die SuS mit folgenden Thesen auseinandersetzen:

- Es gibt Prognosen, die das Ende des Erdöls voraussagen.
- Manche Thesen gehen von dem Ende des Erdöles zu Lebzeiten der SuS aus.
- Das komplette Wegfallen des Erdöls könnte Konsequenzen für Deutschland haben, weil es sehr wenige Ölvorkommen hier gibt.

- Das komplette wegfallen des Erdöls könnte persönliche Konsequenzen haben.

Zu diesem Zweck erhielten die SuS folgende Versuchsanleitung sowie die in der Abbildung gezeigten Diagramme. Bei dem linken Diagramm handelt es sich um die Hubbert-Kurve. Die rechte Abbildung zeigt das Ende verschiedener fossiler Energieträger in Abhängigkeit von der Zeit.

Immer wieder wird vorausgesagt, dass das Erdöl bald zur Neige geht. Aber stimmt das wirklich und wann ist es soweit? Dazu bietet die Hubbert-Kurve eine gute Übersicht. Ihr seht sie am Platz liegen. Was sagt euch diese Graphik?

In Deutschland ist das Vorkommen an Erdöl nicht besonders groß. Welche Probleme könnten für uns auftreten, wenn das Erdöl weltweit immer knapper wird?

Auf eurem Platz findet ihr eine weitere Graphik, die zeigt, wann welcher fossile Brennstoff vermutlich ausgeschöpft sein wird. Angenommen das Öl ist in 42 Jahren wirklich erschöpft. Wie alt seid ihr dann? Welchen Nachteil könntet ihr haben, wenn die Menschen vor euch schon alles Öl verbraucht haben?

Im ersten Teil der Aufgabe sollten die SuS die Hubbert-Kurve interpretieren. Je nach Jahrgangsstufe gestaltete sich dies für einige SuS schwierig, so dass ein Betreuer hinzugezogen werden musste. Nach nochmaliger Erklärung war es aber den SuS möglich die Aussage der Graphik zu verstehen und anschließend zu interpretieren. SuS der Sekundarstufe II waren in der Regel eigenständig in der Lage Informationen aus der Grafik zu ziehen. Bei der Hubbert-Kurve handelt es sich um eine sehr vielschichte Darstellung wissenschaftlicher Fakten. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich die SuS zunächst an den Darstellungstyp gewöhnen musste. Es wäre eventuelle für das freie Arbeiten der SuS von Vorteil gewesen, eine kurze Beschreibung beizulegen.
Im Zweiten Teil wurden die aus der Hubbert-Kurve ermittelten Daten auf die deutsche Gesellschaft projiziert. Aus persönlicher Erfahrung wissen die SuS, dass die Ölpreise steigen. Daher war es ihnen schnell klar, dass eine Ölknappheit zu noch höheren Ölpreisen führen wird. In Bezug auf Deutschland leuchtete ihnen ein, dass es wohl keine andere Möglichkeit gibt als Öl zu importieren. Daher erkannten sie die problematische Situation, in der sich Deutschland im Falle einer Ölknappheit befindet. An dieser Stelle hätte nach einer Problemlösung gefragt werden können. Da die SuS die Problematik erkannten, ist davon auszugehen, dass sie auch selbständige Problemlösestrategien entwickeln könnten.
Im dritten Teil der Aufgabe wurde die Ölknappheit auf das persönliche Leben der SuS bezogen. Dazu diente die Überlegung, wie alt die SuS sind, wenn das Öl ausgehen soll. So wurde ein persönlicher Bezug geschaffen und die Theorie in die Lebenswelt der SuS integriert. Anschließend erfolgte die Frage nach den Vor- und Nachteilen, die ihnen daraus entstehen könnten. Der Beobachtung nach erstaunte es die SuS, einen so konkreten Zeitpunkt für das „Ende des Öls“ vor sich zu haben. Ob das Öl tatsächlich in 42 Jahren ausgegangen ist, ist dabei völlig unerheblich. Aber das konkrete Nennen eine Jahreszahl bringt den SuS das Thema erheblich näherer als das Aufzählen abstrakter Theorien.

Zusammenfassen lässt sich sagen, dass die SuS durch den Aufbau des Versuchs einen anderen Zugang zum Thema Erdöl erfahren konnten, als durch rein praktische Vorgehensweisen. Vor allem SuS, die sich im Labor sehr vorsichtig und ängstlich verhielten, konnten so genauso wie ihre Mitschülerinnen dem Thema näher kommen. Die Projektion der anspruchsvollen Grafik mit der persönlichen Lebenswelt der SuS stellt eine gute Möglichkeit dar, theoretisches Wissen interessant zu gestalten.

Station 3: Da läuft Öl aus!

Dass austretendes Öl die Umwelt belasten kann, wird in den Medien immer wieder thematisiert. Gerade in der Ölkatastrophe im Golf von Mexico 2010 wurde ersichtlich, welche Auswirkungen technisches Versagen auf Umweltsysteme haben kann. Diese Tatsache erreicht SuS aber nicht nur via Fernsehen und Internet. Altes Motoröl muss separat entsorgt werden und am Straßenrand wird häufiger vor „Ölspuren" gewarnt. Welche Auswirkungen Öl aber tatsächlich auf natürliches Material hat, kann durch einen forschenden Versuch veranschaulicht werden.
In diesem Versuch sollen die SuS folgenden Sachverhalt erfahren:

- Wenn Erdöl mit verschiedenen natürlichen Substanzen in Kontakt gerät, ist es schwierig es wieder abzutrennen.

Zu diesem Zweck erhielten die SuS folgende Versuchsanleitung, sowie die im oberen Bild abgebildeten Materialien.

Katastrophen, bei denen Erdöl in die Natur gelangt, kommen immer häufiger vor. Sicher habt ihr in den Nachrichten von der großen Ölkatastrophe im Golf von Mexiko gehört. Aber was bewirkt ausgelaufenes Öl eigentlich?

An eurem Platz findet ihr Erdöl, sowie verschiedene andere Materialien. Findet heraus, wie Erdöl auf verschiedene Materialien wirkt und wie man natürliches Material von Erdöl (sparsam sein) befreien kann!

Wie sahen die Auswirkungen aus und welche Reinigungsmethode hat am besten funktioniert?

Entsorgung: Es ist wichtig, die ölhaltigen Materialien richtig zu entsorgen! Gebt die festen Materialien in den ausstehenden Eimer, die Flüssigkeiten werden in den am Boden stehenden Kanister gegeben.

In diesem Fall wurde auf eine konkrete Beschreibung des Versuch Vorgangs verzichtet, um problemlösendes Denken bei den SuS zu generieren. Zur Handhabung des Erdöls standen Handschuhe zur Verfügung. Weitere sicherheitsbedenkliche Substanzen kamen nicht zum Einsatz. Die SuS hatten so die Möglichkeit, ganz nach ihrer eigenen Vorstellung frei zu experimentieren. Die

meisten SuS nahmen das Angebot gerne an und stellten genaue und gut dokumentierte Beobachtungen an. Nur selten kam es vor, dass die SuS danach fragten, wie der Versuch durchzuführen sei. Es wurden an dieser Stelle unterschiedliche Lerntypen deutlich. Auch wenn in diesem Rahmen keine belegten weiteren Untersuchungen durchgeführt wurden, waren es doch häufig Schülerinnen, die Berührungsängste mit der unvertrauten Materie zeigten. Dieselben Schülerinnen experimentiert jedoch nach Anleitung ohne bedenken. Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass sie in ihrem Unterricht nicht häufig mit derart forschenden Aufgabenstellungen konfrontiert werden. Schüler zeigten oft eine längere Ausdauer, was das Ausprobieren und das Finden von Lösungswegen anging als Schülerinnen.

Grundsätzlich konnte man beobachten, dass das Experiment die Schülerschaft polarisierte. So gern es eine bestimmte Gruppe von SuS annahm, wurden andere SuS durch die offene Fragestellung verunsichert. Erklärend könnte man vermuten, dass manche SuS unsicher waren, weil sie nicht wussten, was von ihnen erwartet wurde. Im Hintergrund des Experiments stand dabei viel mehr die Aufforderung zum freien Experimentieren, als das Ergebnis selbst. Manche SuS entwickelten mit Hilfe von Filter und Spüli interessante Methoden, um etwa den Sand etwas vom Öl zu befreien. Im Gedächtnis geblieben ist jedoch, wie schwer das Erdöl zu handhaben ist. Nach der Arbeit waren die SuS angehalten, den Platz wieder so zu verlassen, wie sie ihn vorgefunden haben. Viele SuS merkten spätestens dann, wie schwer es ist, die Glasgeräte vom Öl zu befreien. In Hinsicht auf den ethischen Zusammenhang hätte eine Anschlussfrage durchaus präzisere formuliert werden können. Zum Beispiel hätte es sich angeboten die ölige Hühnerfedern, die den SuS zur Verfügung stand auf einen Küstenvogel zu beziehen. An dieser Stelle hätte durchaus eine Frage zum moralischen Handeln folgen können.

Station 4: Raffinerie

Das Erdöl nicht aus der Erde gefördert wird und danach gleich getankt werden kann, ist für SuS nicht selbsterklärend. Die Vorgänge in einer Raffinerie sind durchaus komplex und müssen dementsprechend auf ein geeignetes SchülerInnenniveau reduziert werden. Dennoch hat die Betrachtung der einzelnen Fraktionen des Erdöls eine deutliche Berechtigung. Aus Erdöl wird natürlich nicht nur naheliegender Weise Treibstoff, sondern auch weitere Produkte gewonnen.
In diesem Versuch sollen die SuS folgende Punkte kennen lernen:

- Erdöl ist ein Rohprodukt und muss aufbereitet werden, damit es benutzt werden kann.
- Aus Erdöl kann man viele verschiedene Produkte herstellen.
- Die Eigenschaften der Erdölprodukte können ganz unterschiedlich sein.

Die SuS erhielten die folgende Versuchsanleitung. Am Platz war eine Destillationsapparatur zur Erdöl Destillation aufgebaut. Außerdem hing das Schema einer Erdölraffinerie aus. Zusätzlich veranschaulichte ein Schaukasten die Produkte, die aus Erdöl gewonnen werden können.

Erdöl kann, wenn es aus der Erde gepumpt wurde, nicht sofort verwendet werden. Es muss erst durch einen aufwändigen Prozess aufgearbeitet werden.

Am Platz seht ihr eine Abbildung, die veranschaulicht, wie viele Produkte aus Erdöl entstehen. Welches dieser Produkte verwendet ihr wohl am häufigsten?

Im Abzug seht ihr eine Destillationsapparatur. Hier wird Erdöl in seine Bestandteile zerlegt. Im Abzug nebenan seht ihr einige Bestandteile von Erdöl. Öffnet die Fläschchen und riecht vorsichtig daran. Welche Beobachtung macht ihr, wenn ihr das Erdöl und die Produkte vergleicht?

Den meisten SuS der Oberstufe war der Aufbau einer Destillationsapparatur bekannt. Sie nutzen die Gelegenheit, die verschiedenen Kraftstoffe nach ihren Geruchseigenschaften zu untersuchen. Der Zugang bei diesem Versuch war recht theoretisch und nur wenig experimentativ. So fand ein bestimmter Lerntyp einen Zugang zum Thema. Viele SuS ließen sich viel Zeit um die im Schaukasten ausgestellten Produkte zu betrachten. Den SuS wurde klar, dass Erdöl in seine Bestandteile zerlegt werden muss, damit man es verwenden kann. Der ethische Bezug konnte in diesem Fall nur in Verbindung mit den zuvor beschriebenen Versuchen hergestellt werden.

Station 5: Warmes und kaltes Heizöl

Heizöl kennen viele SuS von der heimischen Heizung. Es handelt sich also um ein Produkt, das der Erfahrungswelt der SuS entstammt. Da Heizöl auch eine wichtige Rolle bei der Diskussion um den Energiemix von morgen spielt, eignet sich der im Folgenden dargestellte Versuch.
Die SuS sollen in diesem Versuch die unterschiedliche Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten kennen lernen. Dazu erhielten sie folgende Versuchsanleitung.

Heizöl wird in vielen Kellern bei uns zu Hause aufbewahrt. In diesem Versuch können wir eine
wichtige Eigenschaft von Heizöl kennen lernen.
Nehmt drei Reagenzgläser und füllt sie jeweils randvoll mit Wasser, Spiritus und Heizöl. Dann wird jedes Reagenzglas mit einem Steigrohr mit Gummistopfen verschlossen. Der Flüssigkeitsstand wird mit einem Stift am Rand des Steigrohrs markiert.
Jetzt werden die drei Reagenzgläser in einem Wasserbad erwärmt.
Was erwartet ihr?
Was beobachtet ihr?
Gießt anschließend das Wasser in den Abguss. Den Spiritus und das Heizöl gebt in die Behälter zurück!

Im Vergleich zu den anderen Stationen, wurde dieser Versuch erstaunlich selten durchgeführt. Tatsächlich wird in diesem Versuch eine physikalische Eigenschaft untersucht, die einen sehr theoretischen Charakter hat. Der Bezug zur Energiediskussion ist mit Sicherheit auch nicht auf den

ersten Blick nachvollziehbar. Im Rahmen einer erneuten Durchführung des Praktikums, würde auf diesen Versuch verzichtet werden.

Station 6: Staubexplosion

Um eine Staubexplosion in einem Sägewerk zu imitieren, eignet sich ein Explosionsrohr, in dem mit Hilfe von Stärke eine kleine Staubexplosion erzeugt werden kann.
Die SuS sollen in diesem Versuch auf Holz als wichtigen Biomassestoff aufmerksam werden. Die folgende Anleitung verdeutlicht die Versuchsdurchführung.

Holz ist ein wichtiger Biomasse-Rohstoff. Allerdings verheizen wir in unseren Öfen und Kaminen zu Hause keine ganzen Bäume. Sägewerke sorgen dafür, dass der Rohstoff Holz zerkleinert und weiterverarbeitet wird. In so einem Sägewerk kann es ziemlich staubig zugehen. Es besteht dadurch die Gefahr einer Staubexplosion.

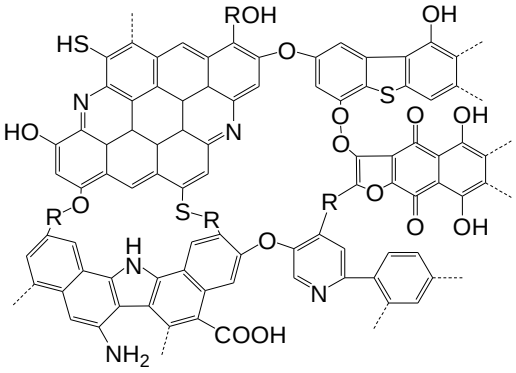
Am Platz seht ihr ein Reaktionsrohr für eine Staubexplosion. Stellt ein brennendes Teelicht auf den Boden des Rohres. Dann füllt den Tiegel mit gesiebter Weizenstärke. Sie simuliert den Staub.
Der Tiegel wird ebenfalls auf den Boden neben die Kerze gestellt.
Legt die Abdeckung auf das Rohr und schließt den Abzug. An den Schlauch des Reaktionsrohrs wird eine Luftpumpe angesetzt und so heftig wie möglich gepumpt.

Bei der Herstellung von Pellets in einem Holzverarbeitungsbetrieb, besteht natürlich immer die Gefahr einer Staubexplosion. Diese kann mit Hilfe von Weizenstärke simuliert werden. Der Versuch wurde in erster Linie ausgewählt, um das Angebot an verschiedenen Experimentiermöglichkeiten zu erhöhen und die Motivation der SuS zu steigern. Der Versuch wurde von den SuS gerne angenommen. Nachteilig war jedoch, dass die Explosion nicht immer hervorgerufen werden konnte. Es bedurfte in der Regel mehreren Versuchen. Manche Gruppen waren durch die Herausforderung angespornt. Der mit Erfolg belohnte Ehrgeiz der SuS motivierte stark für die nächsten Versuche.

Station 7: Was ist Kohle

Der Kohlebergbau ist in Deutschland nicht nur auf das Ruhrgebiet beschränkt. Kohle ist den SuS bekannt. Vor allem jedoch durch Grillbriketts. Kohle kann allerdings auch andere Eigenschaften haben.
In diesem Versuch sollen die SuS neue Eigenschaften von Kohle kennen lernen. Die dazu notwendigen Geräte standen den SuS zusammen mit der folgenden Versuchsanleitung zur Verfügung.

Kohle besteht nicht nur aus Kohlenstoff, sondern es kommen auch andere Elemente in Kohle vor. Hier siehst du die Struktur von Kohle. Welche Elemente kommen vor? Kreist ein und beschriftet!



Aktivkohle ist eine sehr feine Art von Kohle, die oft in Filtern genutzt wird. Setzt den Glastrichter ins Stativ und verseht ihn mit drei übereinander gelegten Faltenfiltern. Dann gebt sechs kleine Löffel Aktivkohle in den Faltenfilter. Stellt unter den Trichter einen sauberen Erlenmeyerkolben. Messe 50 mL Rotwein ab und gießt ihn anschließen vorsichtig über die Aktivkohle. Wartet einen Moment. Welche Beobachtungen macht ihr?

Aktivkohle wird auch in Filtern im Automotor verwendet. Warum?

Im ersten Teil der Aufgabe wurden die SuS mit einer Molekülstruktur konfrontiert. Wie die SuS damit umgingen, hing stark von ihrem Alter ab. Die Jahrgangstufen der Sekundarstufe II hatten in der Regel keine Probleme damit, mit der Molekülstruktur umzugehen und lösten die Aufgabe ohne Probleme. SuS der Sekundarstufe I konnte zumindest Elementabkürzungen wiedererkennen. SuS der Klasse 8 ließen die Aufgabe in der Regel aus. Der zweite Teil des Versuchs bot den SuS die Möglichkeit aktiv zu experimentieren. Die Durchführung des Versuchs ist denkbar einfach, es traten dabei keine weiteren Schwierigkeiten auf. Außerdem war der Effekt des entfärbten Weins direkt zu sehen. Mit der anschließenden Frage, konnten die SuS ihre Beobachtungen auf ein Beispiel aus der Realität übertragen. Den Transfer, dass aus dem Wein Stoffe gefiltert wurden und dass Aktivkohle Abgase filtert wurde in der Regel ohne Probleme geschlossen. Dadurch wurde der Sinn eines Abgasfilters veranschaulicht und auf mögliche Konsequenzen der Verbrennungsreaktionen im Auto hingewiesen. Dieser Aspekt hätte durch eine zusätzliche Frage stärker verdeutlichte werden können.

Station 8: Feinstaubbeobachtung

Im engen Zusammenhang mit der Energieproblematik ist die Klimadebatte zu nennen. Die herkömmlichen Methoden zur Gewinnung von nutzbarer Energie erzeugen verschiedenste klimaaktive Stoffe, vor allem aber CO_2. Vor allem durch Dieselmotoren wird zusätzlich die Feinstaubbelastung erhöht. Feinstaub an sich, der aus mit dem bloßen Auge nicht sichtbaren

Teilchen besteht, kann nur unter dem Mikroskop beobachtet werden. Durch solche Aufnahmen wird der ansonsten unsichtbare Feinstaub sichtbar gemacht.
In diesem Versuch sollen die SuS Feinstaub unter dem Mikroskop beobachten und mit Hilfe einer einfachen Rechnung erkennen, wie viel kg Feinstaub von einen einzelnen Auto emittiert werden kann. Dazu erhielten die SuS folgende Anleitung. Zusätzlich wurde ein Mikroskop und einige REM Aufnahmen zur Verfügung gestellt.

Feinstaub wird zum Beispiel durch den Autormotor frei gesetzt. Die kleinen Teilchen verbleiben dann für eine gewisse Verweilzeit in der Luft und nehmen so Einfluss auf unser Klima und das Wetter.

Auf dem Tisch liegen starke Vergrößerungen von Dieselrußproben. Am Platz findet ihr außerdem Klebebandstreifen mit verschiedenen Feinstaub-Proben. Untersucht die Proben unter dem Mikroskop. Was beobachtet ihr?

Ein Auto mit Dieselmotor stößt pro km etwa 180 Gramm Dieselruß aus. Wie viel stößt das Auto aus, wenn es im Jahr 30.000 km fährt? Was bedeutet das für unsere Umwelt?

Stelle eine Vermutung auf: Woher kommt der Dieselruß?

Die SuS erhielten verschiedene Arten von Feinstaub, um die Unterschiede unter dem Mikroskop zu beobachten. Der Umgang mit dem Mikroskop bereitete den SuS keine Schwierigkeiten, die meisten hatten bereits Erfahrung durch vergangene Mikroskopier-übungen aus der Schule. Der Unterschied der verschiedenen Proben wurde von den SuS erkennt und korrekt wiedergegeben. Die anschließende Rechenaufgabe wurde von den SuS problemlos gelöst. Die Menge an Feinstaub sorgte für Überraschung Seitens der SuS. Die letzte Frage zielte auf einen Rückschluss auf den Treibstoff ab. In der Regel stellte es vor allem für die SuS der Sekundarstufe II keine größere Schwierigkeit dar, den Rückschluss auf Dieseltreibstoff und damit auf das Thema der Energie zu ziehen.

Station 9: Kostbare Energie

Energie ist nicht nur kostbar, wenn es um die Flexibilität und das zurücklegen von weiten Strecken geht. Auch für unsere Ernährung spielt Energie eine große Rolle. Viele Lebensmittel verbrauchen bei ihrer Herstellung eine Menge Energie, was sich wiederrum auf ihre CO_2-Bianz niederschlägt. Diese Tatsache ist oft weitgehend unbekannt oder wird nicht entsprechend kommuniziert. Dabei erzeugen auch heimische Produkte nicht wenig CO_2. Natürlich wird diese kostbare Energie in verschiedenen Ländern auch unterschiedlich gewonnen. Die den Ländern spezifischen äußeren Umstände sorgen dafür, dass völlig verschiedene Energie-Zusammensetzungen entstehen. Ein Land wie Island zum Beispiel fällt durch seine besonders hohen Anteil an Geothermie auf. Länder der dritten Welt gewinnen nutzbare Energie größten Teils durch Biomasse. In diesem Fall bedeutet dies, dass Biomasse, vorwiegend Holz und Abfälle, direkt verbrannt werden.

In diesem Versuch sollen die SuS vorwiegend mit folgenden Punkten konfrontiert werden:

- Es wird Energie gebrauch, um unsere Lebensmittel herzustellen.
- Durch die Herstellung von Produkten, die jeder von uns zu sich nimmt, werden große Mengen CO_2 freigesetzt.
- Verschiedene Länder erzeugen ihre Nutzenergie auf unterschiedlichste Art und Weise.

Die folgende Versuchsanleitung sowie die Diagramme lagen zur Bearbeitung vor.

Energie ist kostbar. Wir brauchen sie nicht nur um uns fortzubewegen, sondern auch, um uns zu ernähren. Die Herstellung verschiedener Lebensmittel verursacht unterschiedlich viel CO_2.

Ordnet die Lebensmittel am Platz im Diagramm an! Dann vergleicht mit dem Lösungsblatt! Warum wird durch einige Lebensmittel mehr CO_2 ausgestoßen als durch andere?

Energie ist allerdings nicht nur für uns wichtig, sondern auch für alle anderen Menschen auf der Welt. Verschiedene Länder erzeugen ihre Energie auf unterschiedliche Weise. Am Platz seht ihr vier Tortendiagramme. Ordnet die Länder den Diagrammen zu und vergleicht dann mit dem Lösungsblatt!

Nach welchen Kriterien habt ihr die Länder zugeordnet?

Beide Teile des Versuchs enthielten keinen hohen Experimentatoren Aufwand. Sie boten den SuS einen Zugang zum Thema, die sich einer solchen Fragestellung gerne auf einem theoretischeren Weg nähern. Obwohl im Labor viele Versuche aufgebaut waren, die mehr experimentieren zu ließen, wurde auch dieser Versuch von den SuS gerne durchgeführt und auch mit großer Sorgfalt reflektiert. In ihren Gruppen diskutierten die SuS über die Verteilung der Lebensmittel im Diagramm, oder über die Zuordnung der Länder zu den Tortendiagrammen. Lösungsblätter in einem separaten Umschlag schufen die Möglichkeit, die eigene Zuordnung zu kontrollieren. Zusatzfragen sorgten dafür, dass über das soeben erhaltene Ergebnis nachgedacht wurde.

<u>Station 10: Klimawandel</u>

Der Klimawandel wird in den Medien diskutiert und ist SuS auch durch verschiedene Themen in der Schule bekannt. Dass dieser Wandel des Klimas mit dem erhöhten Energiebedarf der wachsenden Erdbevölkerung zusammen hängt, wird im Allgemeinen angenommen. Dabei finden die verschiedenen treibhausgase immer häufiger Erwähnung. ZU ihnen zählt CO_2, CO, N_2O und CH_4. Diese bekanntesten klimaaktiven Stoffe können dafür sorgen, dass sich die Erdtemperatur erhöht. Diesen Effekt kann man in einem einfachen Versuch gut nachempfinden.

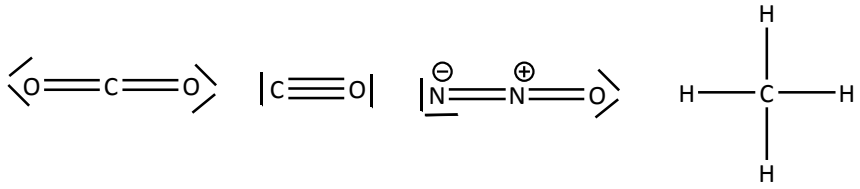
In diesem Versuch sollen die SuS folgende Punkte kennenlernen:

- Es gibt verschiedene klimaaktive Stoffe neben CO_2.
- Wird Luft durch CO_2 ersetzt, kann sich die Temperatur messbar erhöhen.

Zur Entwicklung von CO_2 standen den SuS Haushaltsessig, sowie Backpulver zur Verfügung. Eine Plastikkugel dienste als Simulation für die Erdatmosphäre. Zusätzlich erhielten die SuS folgende Versuchsanleitung sowie einen Molekülbaukasten.

Das Klima verändert sich und die sogenannten Treibhausgase sollen einen Teil dazu beitragen. Aber Wie sieht es eigentlich aus, dass berühmte Kohlenstoffdioxid?

Hier seht ihr einige Formel von Treibhausgasen. Baut sie mit dem Molekülbaukasten nach! Welche Verbindungen kennt ihr schon, welche sind euch neu?



Aber nimmt CO_2 wirklich Einfluss auf die Temperatur? Zu diesem Zweck werden wir erstmal CO_2 herstellen. Dazu nehmt einen Luftballon, gebt zwei Teelöffel Backpulver hinein füllt den Luftballon zur Hälfte mit Essig. Bei der Reaktion zwischen Backpulver und Essig entsteht Kohlenstoffdioxid, das den Luftballon aufbläst. Haltet den Luftballon während der Reaktion gut zu.

Wenn sich genug Gas im Luftballon gesammelt hat, wird etwas von diesem Gas in die eine Seite der Plastik-Kugel des Modells gelassen. Verschließt die Kugel mit Knete. Dann wird das Modell mit einer Lampe bestrahlt. Messt die Temperatur in beiden Kammern! Was messt ihr?

Die Luftballons werden in den Mülleimer entsorgt.

Die SuS waren dazu angehalten im ersten Teil des Versuchs die oben gezeigten klimaaktiven Stoffe mit Hilfe eines Molekülbaukastens nachzubauen. Dies diente dem Zweck, dass nicht einfach über die Strukturformeln hinweggelesen wird, sondern dass die einzelnen Moleküle genaue betrachtet werden müssen. Für SuS der Sekundarstufe I, die noch nicht genauer mit dem Molekülaufbau vertraut waren, gestaltete sich diese Aufgabe teilweise schwierig. SuS der Sekundarstufe II hatten jedoch keine Probleme auch auf die genaue Anzahl an Doppel- und Einfachbindungen zu achten.
Im zweiten Teil des Versuchs wurde mit Hilfe von Essig und Backpulver CO_2 in einem Luftballon entwickelt. Manchmal war ein zweiter Versuch nötig, falls das CO_2 zu schnell aus dem Ballon entwich. In der Regel bereitete es den SuS jedoch keine Schwierigkeiten. Die Plastikkugel wurde mit einer Lampe bestrahlt und die Temperatur vor und nach Zugabe von CO_2 gemessen. Ein Effekt ließ sich beobachten, fiel jedoch manchmal (je nach CO_2 Konzentration) sehr gering aus. Ältere SuS bemängelten, dass das Ergebnis nicht signifikant von der ersten Messung abweiche. Jüngere SuS lasen manchmal ungenau ab, wodurch der Effekt noch geringer wurde. Im Allgemeinen war jedoch ein Temperaturunterschied zu beobachten, der auch von den SuS als Ergebnis notiert werden konnte.

Station 11: festes CO_2

CO_2 als klimaaktiver Stoff bietet in seiner festen Form eine interessante experimentelle Vorlage. Im Gegensatz zu der gasförmigen Entwicklung von CO_2 kann man bestimmte Eigenschaften des Stoffs so besonders gut untersuchen und beobachten.
Die SuS sollten in diesem Versuch folgende Punkte erfahren:

- Auch wenn CO_2 als gas in der Luft vorkommt, kann es auch in seine feste Form überführt werden.
- CO_2 sublimiert.
- Das Volumen von gasförmigen CO_2 ist um ein vielfaches größer als das Volumen von festen CO_2.

Den SuS wurde dazu Trockeneis und folgende Versuchsanleitung zur Verfügung gestellt.

Trockeneis ist festes CO_2. Genauso wie Wasser als Eis in fester Form und als Wasserdampf in gasförmiger Form vorkommen kann, kann auch CO_2 in der Luft als Gas und als Trockeneis in fester Form vorkommen. Allerdings sind sehr tiefe Temperaturen nötig, um CO_2 in die feste Form zu überführen. Also VORSICHT beim Arbeiten mit Trockeneis! Es hat eine Temperatur von ca. -79°C und sollte nicht an die Haut kommen!

Sprecht einen Betreuer an, ob er euch Trockeneis aus dem Aufbewahrungsbehälter geben kann.
Nehmt ein kleines Stück des Trockeneises und legt es auf den Handschuh. Beobachtet was passiert! Was bleibt von dem Trockeneis nach einiger Zeit übrig?

Füllt ein Becherglas zur Hälfte mit Wasser aus dem Hahn. Dann gebt ein kleines Stück Trockeneis dazu. Was passiert?

Gebt ein Stück Trockeneis in einen Gummihandschuh und knotet diesen zu! Was passiert? Welche Aussage könnt ihr über das Volumen des CO_2 im festen und im gasförmigen Zustand treffen? Vergleicht dieses Ergebnis mit dem Ergebnis aus Versuch 12!

Beim Umgang mit Trockeneis ist natürlich darauf zu achten, dass es nicht in Kontakt mit der Haut gelangen sollte. Daher wurde von einem Betreuer von einem großen Block Trockeneis für jede Gruppe einzeln ein Stück Trockeneis abgeschlagen. Mit Hilfe von dicken Handschuhen konnten die SuS alle weiteren Versuche selbst durchführen. Es ist allerdings darauf zu achten, dass je nach Alter der SuS die Gruppen durchgehenden berücksichtigt werden sollten. Der Versuch wurde von den SuS stark frequentiert. Die Effekte waren gut zu beobachten und die SuS hatten sichtlichen Spaß am Experimentieren. Es wäre sicherlich sinnvoll gewesen mit einer weiterführenden Frage den Bezug zum Thema Energie enger zu knüpfen.

Station 12: CO_2-Bilanz

Wie viel CO_2 tatsächlich beim Autofahren emittiert wird, lässt sich leicht berechnen, ist dann aber noch nicht anschaulich. Benzin und Diesel sind Treibstoff Nummer eins. Jeder SuS verwendet fast täglich Transportmittel wie Auto, Bus und Bahn, die Treibstoffe verbrennen.
In diesem versuchen Sollen die SuS folgende Thesen kennen lernen:

- Jeder Mensch verursacht CO_2.
- Im Straßenverkehr wird eine Menge CO_2 ausgestoßen.

Den SuS stand hierzu die folgende Versuchsanleitung zur Verfügung.

CO_2 (Kohlenstoffdioxid) ist ein Treibhausgas, das dafür sorgt, dass die mittlere Temperatur der Erde steigt. Jeder Mensch verursacht, dass CO_2 entsteht. Nenne fünf Punkte, bei denen du selbst CO_2 verursachst:

Besonders im Straßenverkehr wird viel CO_2 ausgestoßen. Ein durchschnittliches Auto verbraucht zwischen 6 und 12 Liter Benzin auf 100 km. Berechne mit Hilfe der Gleichungen wie viel CO_2 dabei pro km ausgestoßen wird!

Am Platz findest du einen Eimer mit Sand. Wiege die Menge CO_2 in Sand ab, das du auf einer 1 km langen Strecke ausgestoßen hättest, wenn du mit dem Auto gefahren wärst!

Hast du das Ergebnis erwartet?

Im ersten Teil des Versuchs wurden die Erfahrungen der SuS aktiviert. Sie wurden dazu aufgefordert Punkte zu nennen, mit denen Sie persönlich für CO_2 Ausstoß verantwortlich sind. Im nächsten Teil sollten Sie mit Hilfe einer einfachen Gleichung durch eisnetzen der in der Aufgabe genannten Werte ausrechnen, wie viel CO_2 ein Auto auf 100 km ausstößt. Damit dieser Wert keine rein mathematische Zahl bleibt, sollten sie anschließend die entsprechende Menge Sand abwiegen. In der Regel haben die SuS dieses Ergebnis nicht erwartet. Dieses Ergebnis war vor allem für die älteren SuS mit Führerschein interessant.

<u>Station 13: Energie-Politik</u>

Die Energieproblematik hat eine hohe Gesellschaftliche Relevanz die sich in großen Teilen durch politische Zusammenhänge konstituiert. Der Energiemix in Deutschland wurde nicht zuletzt durch politische Subventionen geregelt. Vor allem der immer wieder beschriebene Klimawandel fordert zum Handeln auf. Dabei hat die CO_2-Emission die durch die Erzeugung von Nutzenergie auftritt einen hohen Einfluss.
In diesem Versuch sollen die SuS folgende Kernaussagen kennen lernen:

- In Deutschland wird nutzbare Energie aus verschiedenen Quellen generiert.
- Verschiedene Quellen erzeugen unterschiedlich viel CO_2.
- Die Arten der Energieerzeugung, die heute noch am häufigsten genutzt werden, erzeugen das meiste CO_2.

Hierzu erhielten die SuS zwei Tortendiagramme mit der Möglichkeit die Beschriftung selbst zuzuordnen. Folgende Versuchsanleitung lag vor.

CO_2 wird vor allem deswegen ausgestoßen, weil wir Menschen brauchbare Energie erzeugen. In Deutschland gibt es verschiedene Möglichkeiten, die genutzt werden, um Energie brauchbar zu machen.

Am Platz findet ihr ein Tortendiagramm mit Prozentangaben und einzelne Methoden zur Energiegewinnung. Schätzt wie viel Energie in Deutschland aus welcher Quelle stammt und ordnet die Energiequellen wie Atomkraft, Erdöl oder Wind den Tortenstücken zu. Vergleicht euer Ergebnis dann mit dem Lösungsblatt!

Wie gesagt erzeugen unterschiedliche Methoden zur Energiegewinnung auch unterschiedlich viel CO_2. Schätzt welche Methode am meisten CO_2 verursacht. Geht dabei vor wie zuvor und vergleicht anschließend mit dem Lösungsblatt!

Was wird in Deutschland am meisten zur Energieversorgung verbraucht? Wie viel CO_2 stößt das im Vergleich zu anderen Energieformen aus?

Welche Art der Energieerzeugung würdet ihr empfehlen, um weniger CO_2 auszustoßen?

Der Versuch bot den SuS die Möglichkeit sich der Thematik auf einer theoretisch-inhaltlichen Ebene zu nähern. Der konkrete Bezug zwischen naturwissenschaftlicher Grundlage und gesellschaftlicher Relevanz wurde so konkret geschlossen. Die SuS diskutierten in kleinen Gruppen oft ausgiebig, bevor sie das Lösungsblatt zu Hilfe zogen. Das Zuordnen der Karten zu den einzelnen Diagrammteilen ermöglichte es den SuS sich intensiv mit der Graphik auseinanderzusetzen und sie nicht nur visuell wahrzunehmen.
Der Bezug zur CO_2 Problematik wurde im direkten Vergleich unmittelbar erkannt und auch von den SuS so kommuniziert. In ihren Erklärungen im letzten Teil der Aufgabe wiesen die SuS auf die Problematik hin, dass aus klimatechnischen Gründen Energie-Gewinnungsmethoden zu bevorzugen sind, die wenig CO_2 produzieren, doch das gerade durch diese Methoden nicht viel Energie in Deutschland generiert wird.

<u>Station 14: Daniell-Element</u>

Das Daniell-Element ist klassisches Modell für eine Batterie. Durch elektrochemische Reaktionen kann nutzbare Energie gewonnen werden. Mit Hilfe des Daniell-Elements können diese Reaktionen sichtbar gemacht werden.
Mit Hilfe dieses Versuchs sollen die SuS messen, dass mit Hilfe von chemischen Reaktionen Strom erzeugt werden kann. Dazu stehen die in der Abbildung gezeigten Chemikalien sowie die folgende Versuchsanleitung zur Verfügung.

Strom kann unter anderem auch dadurch gewonnen werden, dass chemische Elemente miteinander reagieren. Das Daniell-Element ist ein typisches Beispiel für eine galvanische Zelle, in der in zwei Kammern, zwei verschiedene Reaktionen ablaufen. In der einen Zelle sind „zu viele Elektronen" in der anderen „zu wenige" damit eine Reaktion ablaufen kann. Verbindet man beide Seiten miteinander, kann ein elektrischer Strom fließen. An eurem Platz findet ihr alle nötigen Materialen, um ein Daniell-Element selber aufzubauen.

Baut das Element entsprechend der Anleitung auf!

1. **Befüllt jeweils ein Becherglas zur Hälfte mit Zinksulfatlösung und Kupfersulfatlösung.**
2. **Befestigt das graue Brettchen am Stativ.**
3. **Klemmt jeweils ein Stück Kupferblech und ein Stück Zinkblecht mit einer Krokodilklemme fest und haltet es in die dazugehörige Lösung.**
4. **Schließt den Stromkreis mit einem Multimeter.**
5. **Stellt eine Salzbrücke her: Dazu wird ein dünnes U-Rohr mit Kaliumnitratlösung befüllt und an den Enden mit Filterpapier-Röllchen verschlossen. Achtung: es darf keine Luft mehr in dem Glasrohr sein!**
6. **Hängt die eine Seite des Glasrohrs in die eine Zelle, die andere Seite in die zweite.**
7. **Schaltet das Multimeter an! Was messt ihr?**

Welcher Vorteil könnte die Stromgewinnung aus so einer galvanischen Zelle im Vergleich zu einer Windkraftanlage haben (Tipp: Was kann besser transportiert werden?)?

Die Versuchsanleitung ist in diesem Fall besonders umfangreich. Damit der Versuch gelingt, müssen alle Schritte genau eingehalten werden. Gerade den jüngeren SuS fiel die Umsetzung oft nicht besonders leicht. Eine Skizze des Versuchsaufbaus wäre in diesem Fall besonders hilfreich gewesen. Mit Hilfe eines Betreuers oder einer Betreuerin konnte der Versuch jedoch immer zuverlässig durchgeführt werden. Der Effekt, dass auf dem Voltmeter eine Spannung abzulesen ist, ist allerdings nicht für alle Lerntypen hilfreich. SuS der Sekundarstufe II konnten dieses Ergebnis besser interpretieren und an ihr Vorwissen anknüpfen. Dieser Versuch sollte unter SuS der Sekundarstufe I auf jeden Fall vertieft behandelt werden um einen guten Lerneffekt zu erzielen.
Im zweiten Teil des Versuchs wurde sollten die SuS den Versuch in das Feld der Energiediskussion integrieren. Der Vorteil eine galvanischen Zelle ist im jeden Fall ihre transportablen Eigenschaften im Vergleich zu verschiedenen anderen Methoden der erneuerbaren Energiegewinnungen. Im Rahmen der Energiedebatte spielt das vor allem dort eine große Rolle, wo Energie für Transportmittel generiert werden muss. Der in Klammern gegeben Tipp half den SuS dabei diesen Zusammenhang zu erkennen.

Station 15: Strom aus der Zitrone

Eine zweite Möglichkeit den Aufbau einer Batterie zu simulieren ist die Verwendung einer Zitrone. Die Zitronensäure dient als Elektrolyt und kann den Stromfluss ermöglichen.

Die SuS sollen in diesem Versuche erkennen, dass mit Hilfe von einfachen Methoden transportabler Strom erzeugt werden kann. Dazu erhalten sie die in der Abbildung gezeigten Materialien sowie folgende Versuchsanleitung:

Eine elektrische Batterie ist eine Galvanische Zelle. Dabei wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Die Funktion einer klassischen Galvanischen Zelle beruht auf einer Redoxreaktion, dabei laufen Reduktion und Oxidation räumlich getrennt ab (siehe Versuch 14. Daniell-Element).

Eine Zitrone kann mit ein paar Handgriffen zu so einer Galvanische Zelle, also einer Batterie, umgebaut werden. Dafür werden in eine Zitrone in einem Abstand von ca. 4 cm ein Zinkblech- und ein Kupferblechstreifen zu 2/3 tief gesteckt. Dazu schneidet ihr die Schale mit dem Messer etwas auf. Zwischen den beiden Elektroden wird nun die Spannung gemessen.

In der Zitronensäure gehen positive Zink-Ionen in Lösung, somit ist die Zinkelektrode negativ geladen. Das Kupfer gibt Elektronen ab, somit ist die Kupferelektrode positiv geladen. Über eine leitende Verbindung der Elektroden erfolgt ein Ladungsausgleich und somit ein geschlossener Stromkreis.

Wie hoch ist die Spannung?

Wie hoch ist die Spannung, wenn ihr eine zweite Zitrone in Reihe Schaltet?

An eurem Platz findet ihr weiterhin elektronische Verbraucher (LED-Lämpchen und Lüfter), wie viele Zitronen wären nötig um diese zum Leuchten bzw. laufen zu bringen? Probiert es aus!

Der Versuchsaufbau dieser Galvanischen Zelle ist im Vergleich zum Daniell Element um ein vielfaches einfacher. Auch die SuS der Sekundarstufe I hatten kein Problem damit den Versuch eigenständig durchzuführen. In der Versuchsanleitung wäre lediglich eine Notiz hilfreich gewesen, die genau erklärt, wie das Multimeter einzustellen ist. Die Einfachheit der Versuchsdurchführung führte dazu, dass die SuS teilweise sehr intensiv und lange an diesem Versuch experimentierten. Auch der letzte Teil der Aufgabe konnte so gelöst werden.

Station 16: PEM-Brennstoffzelle

Brennstoffzellentechnik spielt vor allem in Hinsicht auf transportable Energie eine wichtige Rolle. Einige Fahrzeuge, die diese Technik verwenden sind bereits technisch umgesetzt worden. Da es sich bei dieser Technik um eine vergleichsweise junge Forschung handelt, ist das Potential der Brennstoffzellentechnik noch lange nicht ausgereizt und daher noch nicht für die Massenproduktion bereit. Dass man mit Hilfe von Wasserstoff Energie gewinnen kann, lässt sich jedoch in einem einfachen Versuchs Aufbau zeigen.

Die SuS sollen in diesem Versuch folgende Sachverhalte kennen lernen:

Mit Hilfe von Sonnenlicht und einer Solarzelle kann man Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen.
Reagieren Wasserstoff und Sauerstoff miteinander erzeugen sie genug Energie um ein Windrad anzutreiben.

Zur Umsetzung des Versuchs erhielten die SuS eine genaue Anleitung zur Bedienung des Modells, die am Platz auslag. Des Weiteren standen folgende Arbeitsanweisungen zur Verfügung:

In einer klassischen Brennstoffzelle reagieren Sauerstoff und Wasserstoff miteinander zu Wasser.
Dadurch wird Energie gewonnen. Aber woher nimmt man die beiden Ausgangsstoffe? Es gibt
verschiedene Möglichkeiten Wasserstoff und Sauerstoff herzustellen. Eine davon ist die Elektrolyse. Dabei wird Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten. Dies geschieht hier in einer Proton Exchange Membrane- (=Protonen Austauschmembran) Brennstoffzelle.

Das System an eurem Platz arbeitet nach dem gleichen Prinzip. Zuerst wird Wasser im Elektrolyseur in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Die Energie dazu liefert eine Solarzelle im hinteren Teil. Wenn ihr diese Zelle mit Licht bestrahlt, könnt ihr die Entwicklung der beiden Gase in den Tanks beobachten. Die beiden Gase werden dann im nächsten Schritt dazu verwendet, die Brennstoffzelle zu betreiben. So kann der Propeller vorne in Gang gebracht werden.

Obwohl bei der Reaktion in der Brennstoffzelle nur Wasser als Abfallprodukt entsteht, gelten Brennstoffzellen nicht als CO_2 neutral, das heißt, es wird trotzdem CO_2 ausgestoßen, weil oft Strom aus anderen Energiequellen benutzt wird, um Wasserstoff herzustellen.
Warum wird nicht immer Solarenergie verwendet, um Wasserstoff herzustellen? Stelle eine Vermutung auf!

Die am Platz ausliegende Versuchsanleitung beschrieb die genaue Vorgehensweise in beiden Arbeitsschritten. Diese Schritte mussten genau eingehalten werden, um einen erfolgreichen Versuch zu garantieren. Dieser Versuch gelang vor allem bei bereits erfahreneren SuS. Gerade bei diesem Versuch fiel auf, dass der Versuch nicht so verlassen wurde, wie er vorgefunden war. Das bereitete den nachfolgenden Gruppen große Schwierigkeiten bei der Umsetzung, da die Versuchsanleitung manchmal nicht sofort umgesetzt erden konnte. Vertauschte Anschlüsse erschwerten zum Teil die Durchführung zusätzlich. Ein weiteres Problem ergab sich durch die Bestrahlung der Solarzellen. Mit Hilfe eines Baustrahlers gelang die Elektrolyse zwar sehr schnell, es musste jedoch eine bestimmte Distanz gewahrt werden, um die Solarzelle nicht zu beschädigen. Da diese Distanz nicht immer eingehalten wurde, kam es fortlaufend zur Beschädigung der Solarzelle. In der Versuchsanleitung hätte deutlicher auf den Abstand zur Lampe hingewiesen werden müssen.
Bei gelungener Durchführung wurde der Effekt jedoch sehr deutlich sichtbar und von den SuS korrekt notiert. Viele SuS stellte interessante Vermutungen an, warum zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser nicht ausschließlich Solarstrom verwendet werden kann.

Station 17: Hoffmann-Apparat

Der Hoffmann-Apparat ist ein klassischer Versuch aus dem Schulkontext. Mit seiner Hilfe kann die Entstehung von Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser deutlich gezeigt werden. Dabei steht hier vor allem der Vergleich der erzeugten Mengen an Wasserstoff und Sauerstoff im Vordergrund, die mit Hilfe der Volumina an einer Skala abgemessen werden können.
In diesem Versuch stehen folgende Kernaussagen im Vordergrund: Mit Hilfe von Strom kann Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt werden.
Dabei entsteht die Doppelte Menge Wasserstoff als Sauerstoff.

Folgender Versuchsanleitung stand zur Verfügung.

Mit Hilfe des Hoffmann-Apparats kann man Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegen, indem
man einen elektrischen Strom anlegt. Wasserstoffgas und Sauerstoffgas werden benötigt um eine
Brennstoffzelle anzutreiben. Die Elektrolyse, die im Hoffmann-Apparat abläuft, ist eine Möglichkeit diese beiden Gase herzustellen.

Am Platz ist ein Hoffmann-Apparat aufgebaut. Sorgt dafür, dass beide Rohre bis zu den oberen Hähnen mit Schwefelsäure befüllt sind. Wir verwenden Schwefelsäure, weil die Elektrolyse von Wasser zu lange dauern würde. Die Schwefelsäure kann über den Schlauch zugefügt werden. Drehe alle Schalte am Stromversorgungsgerät ganz nach links. Dann schalte das Gerät ein und regelt die Spannung am rechten Schalter auf 5 V.

Beobachte anschließen die Gasentwicklung in den beiden Rohren. Was fällt euch dabei auf?

Um so die Ausgangsstoffe für die Brennstoffzellenreaktion herzustellen, benötigt man Strom. Aus welchen Quellen muss dieser Strom kommen, damit die umweltfreundliche Brennstoffzellentechnik Sinn macht?

Da der Versuchsaufbau bereits fest installiert war, gestaltete sich die Versuchsdurchführung weniger schwierig. Der Versuch wurde allerdings von den SuS größtenteils gemieden. Dies ist wahrscheinlich auf den Umstand zurück zu führen, dass die meisten SuS den Versuch bereits aus der Schule kannten.
Ein Problem, auf das an dieser Stelle trotzdem hingewiesen werden muss, ist die Verwendung von verdünnter Schwefelsäure, statt Wasser. Für SuS ist dieser Tausch natürlich nicht evident. Es ist zum einen unklar, warum die Versuchsdurchführung auch mit verdünnter Schwefelsäure funktioniert und zum anderen wird nicht geklärt, ob man Wasser einfach durch Schwefelsäure ersetzen darf. Der Lerneffekt wäre mit Sicherheit höher, wenn man Wasser statt Schwefelsäure elektrolysieren würde.

Station 18: Brennstoffzellenautos

Brennstoffzellen Autor oder Autor die mit Wasserstoff fahren können, sind heute hoch diskutiert und eine große Herausforderung für die technische und chemische Forschung zu gleich. Im Rahmen der Energiediskussion spielen sie also eine nicht ersetzbare Rolle.

In diesem Versuch sollen die SuS experimentell erfahren, dass durch die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff miteinander ein kleines Modellauto angetrieben werden kann. Das hier gezeigte Modell stand zusammen mit einer ausführlichen Beschreibung am Platz zur Verfügung. Außerdem erhielten die SuS folgende Anleitung.

In einer klassischen Brennstoffzelle reagieren Sauerstoff und Wasserstoff miteinander zu Wasser.
Dadurch wird Energie gewonnen. Aber woher nimmt man die beiden Ausgangsstoffe? Es gibt
verschiedene Möglichkeiten Wasserstoff und Sauerstoff herzustellen. Eine davon ist die Elektrolyse. Dabei wird Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten. Allerdings kostet das Energie.

Die Brennstoffzellenautos an eurem Platz arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Zuerst wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Die Energie dazu liefert eine Solarzelle auf dem Autodach. Wenn ihr diese Zelle mit Licht bestrahlt, könnt ihr die Entwicklung der beiden Gase in den hinteren Tanks beobachten. Die beiden Gase werden dann im nächsten Schritt dazu verwendet, die Brennstoffzelle zu betreiben. So kann das Autofahren. Bestrahlt die Solarzelle mit einer Lampe und bringt so das Auto in Gang!
Obwohl bei der Reaktion in der Brennstoffzelle nur Wasser als Abfallprodukt entsteht, gelten Brennstoffzellen nicht als CO_2 neutral, das heißt, es wird trotzdem CO_2 ausgestoßen, weil oft Strom aus anderen Energiequellen benutzt wird, um Wasserstoff herzustellen.
Warum wird nicht immer Solarenergie verwendet, um Wasserstoff herzustellen? Stelle eine Vermutung auf!

Vergleicht, welches Auto schneller fährt. Das Solarzellen betriebene oder das aus Versuch 17!

Im ersten Schritt des Versuchs wurde eine Elektrolyse über eine Solarzelle durchgeführt. Im Vergleich zur PEM-Brennstoffzelle lässt sich das Modellauto einfacher bedienen. Die Elektrolyse und auch die darauf folgende Reaktion von Wasserstoff um Sauerstoff bereiteten den SuS in der Regel keine Schwierigkeiten. Viele SuS ließen das Auto quer durch das Labor fahren und beschäftigten sich intensiv mit der zu Grunde liegenden Technik. Auffällig war allerdings, dass vor allem männliche Schüler diesen Versuch durchführten.

Station 19: Energie-Kurbel

Analog zum vorherigen Versuch kann ein Modellauto durch die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zum Fahren gebracht werden. Allerdings kann die Art der Elektrolyse noch weiter

verändert werden. Hier wird zum Beispiel mechanische Energie verwendet, um das Wasser zu elektrolysieren.
In diesem Versuch sollen die SuS erkennen, dass man Wasser nicht nur mit Solarzellen sondern auch mit mechanischer Energie elektrolysieren kann. Dazu stand das Modell, eine ausführliche Versuchsbeschreibung sowie folgende Anleitung zur Verfügung.

In einer klassischen Wasserstoffzelle reagieren Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser. Bei diesem Prozess wird Energie frei. Aber um die Gase Wasserstoff und Sauerstoff herzustellen, benötigt man Energie. Man kann Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe der Elektrolyse von Wasser gewinnen. Dabei wird Wasser in die beiden Gase zerlegt. Auch dieser Prozess läuft nicht von alleine ab, sondern benötigt Energie. Um diese Energie zu erzeugen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine davon ist die Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie.

Mit Hilfe eines Handgenerators könnt ihr das Brennstoffzellenauto an eurem Platz zum Laufen bringen!

Es ist auch möglich die benötigte Energie mit Hilfe einer Solarzelle zu gewinnen. Welche Vor- und Nachteile seht ihr, wenn ihr die beiden Methoden vergleicht?

Vergleicht welches Auto schneller fährt. Das Handgenerator-betriebene oder das aus Versuch 18!

Die Elektrolyse mit Hilfe eines Handgenerators war genau wie das in Gang bringen den Automodells nicht schwer durchzuführen und wurde von allen SuS bewältigt. Außerdem erlebten die SuS so, wie viele Energie nötig ist, um Wasser ins eine Bestandteile zu zerlegen, in dem sie so lange kurbeln mussten, bis genügend gas entstanden ist. Viele SuS veranstaltete im Labor Wettrennen zwischen diesen und dem Auto aus Versuch 18. Natürlich kann mit diesem Verfahren nicht verglichen werden, welche Methode tatsächlich gewinnbringenderen ist, da es sich um zwei völlig unterschiedliche Automodelle handelte, aber die SuS hatten sichtlich viel Spaß an diesem Versuch und konnten sich für die Technik dahinter begeistern.

Station 20: Goldenes Geld

Auch wenn Energie im Umgangssprachgebrauch mehr mit „Heizungen“ und „Autor“ in Verbindung gebracht wird, ist es doch interessant zu untersuchen, woher die Energie für verschiedene Prozesse kommt. In diesem Versuch kommt die Energie als chemische und physikalische Größe in den Blick.
In diesem Versuch sollen die SuS einen chemischen Versuch nach einer genauen Anleitung durchführen und so galvanische Effekte kennen lernen. Dazu stand folgende Anleitung zur Verfügung.

In einer Batterie laufen wie wir wissen chemische Reaktionen ab. Eine Batterie kann für viele Dinge verwendet werden. Unter anderem wird sie in der Industrie zum galvanisieren von Gegenständen verwendet. Das heißt, dass durch eine elektrochemische Reaktion eine dünne Schicht eines Metalls auf einen Gegenstand aufgebracht wird. Einen ähnlichen Effekt kann man in diesem Versuch bewirken.
Nehme eine Kupfer-Münzstück, dazu eignet sich am besten ein 5 Cent Stück. Entfette zunächst die Münze mit einem in Ethanol getränkten Tuch. Gebe dann etwas Salzsäure in das Becherglas und gebe die Münze dazu. Nach etwa einer Minute kann die Münze mit der Pinzette rausgeholt und mit destilliertem Wasser abgespült werden.

Die nun saubere Münze wird in ein weiteres Becherglas mit zwei Spateln Zinkpulver und 20 mL Kalilauge bis zum Sieden erhitzt. Nach einigen Minuten, wenn die Münze mit einem grauen Zinkbelag überzogen ist, wird die Münze herausgenommen. Nun wird die Münze mit destilliertem Wasser gespült und mit einem Tuch getrocknet und das überschüssige Zink-Pulver abgerieben. Nun ist die versilberte Münze fertig.

Zum Vergolden der Münze, musst du die versilberte Münze mit einer Tiegelzange so am Rand festhalten, dass die Zange die Münzfläche nicht berührt. Halte nun die Münze mehrmals kurz mit beiden Seiten in die Bunsenbrennerflamme. Dabei verfärbt sich die Münze schlagartig kupferfarben. Nach dem Abkühlen bildet sich die goldene Färbung.

Woher kommt die Energie, die für diese Reaktionen nötig ist?

Bei diesem Versuch handelt es sich um einen klassischen chemischen Versuch, der von nahezu allen SuS durchgeführt wurde. Der Effekt, nämlich die vergoldete Kupfermünze, war stets sehr deutlich zu sehen und wurde von den SuS fasziniert aufgenommen. Sowohl weibliche als auch männliche SuS nutzten die Gelegenheit mit chemischen „Handwerkszeug“ zu experimentieren und folgten der Versuchsanleitung genaue. SuS der Oberstufe wurden von diesem Versuch ebenso begeistert wie SuS der Sekundarstufe I. Obwohl der Versuch derart gut angenommen wurde, ist kritisch zu bemerken, dass der inhaltliche Zusammenhang zum Thema Energie eher sekundär aufgenommen wurde.

Station 21: Brennender Spülschwamm

Der brennende Spülschwamm wird im schulischen Kontext immer wieder heran gezogen um zu verdeutlichen, dass man Batterien nicht in den Hausmüll entsorgen sollte. Die Batterie als Träger von Energie wird hier genauer untersucht.
Die SuS sollen in diesem Versuch erkennen, dass durch einen mit Stahlwolle geschlossenen Stromkreis eine Batterie diese zum Brennen bringen kann. Dazu stand folgende Versuchsanleitung zur Verfügung.

Eine Batterie wandelt chemische Energie in elektrische Energie um. In der Batterie laufen also
chemische Reaktionen ab. Wenn wir eine Batterie in der Hand halten, ist für gewöhnlich der Stromkreis nicht geschlossen. Wenn wir die Batterie in ein Gerät einsetzen, wird der Stromkreis geschlossen und es fließt Strom. Der Stromkreis kann mit einem leitenden Material geschlossen werden.

Ein Haushaltstipp: werft niemals eine Batterie zusammen mit einem Stahlschwamm zum Töpfe putzen in den Abfall! Was dabei passieren kann, zeigt der nächste Versuch!

Auf eurem Platz findet ihr eine Batterie sowie Stahlwolle. Klemmt ein kleines Stück der Stahlwolle in das Stativ und haltet beide Anschlüsse der Batterie an die Stahlwolle. Was passiert?

Die SuS beobachteten in diesem Versuch vor allem einen Effekt, den sie in der Regel schon zuvor gesehen hatten. Der Versuch wurde häufig durchgeführt, was nicht zuletzt auf seine einfache Durchführung zurück zu führen ist.

Station 22: Energie-Mahlzeit

Wir brauchen Energie zum Leben. Nicht umsonst spricht man von Energiehaushalt des Körpers. Gerade bei Diäten werden nicht selten kcal und KJ gezählt, um dem Körper nur so viel Energie zur Verfügung zu stellen, wie er braucht. Aber welche Lebensmittel wie viel Energie haben, wird oft falsch eingeschätzt. Trotzdem begegnen uns diese Angaben jeden Tag und so wird das Thema Energie an einer ganz anderen Stelle erfahrbar.
Die SuS sollen in diesem Versuch folgende Grundaussagen kennen lernen:

- Nahrungsmittel sind Energieträger.
- Unser Körper braucht eine bestimmte Menge Energie um gut zu arbeiten.

Die Lebensmittelkärtchen sowie die folgende unterstützende Anleitung lag zu Grunde.

Wir Menschen sind „Fabriken“, die Energie verbrauchen. Ohne Energie könnten wir weder laufen noch atmen. Darum müssen wir Energie zu uns nehmen und zwar in Form von Nahrungsmitteln. Dabei wandeln wir die Energie aus der Nahrung in Energie um, die unser Körper gebrauchen kann. Es gilt das Gesetz der Energieerhaltung! Was könnte das sein?

Energie kann im eigentlichen Sinne nicht verloren oder gewonnen werden, man kann sie nur umwandeln. Man kann sie zu etwas machen, was man gebrauchen kann. Das versteht man unter Energieerhaltung: Energie kommt nicht aus dem Nichts und verschwindet auch nicht einfach.
Formuliere hier jeweils einen Satz: Was ist Energiegewinnung und Energieverlust?

Auf eurem Tisch findet ihr verschiedene Nahrungsmittel. Ein Mensch benötigt nicht unendlich viel Energie, isst man zu viel, speichert der Körper Energie in Form von Fett. Die Einheit, in der angegeben wird, wie viel Energie ein Nahrungsmittel enthält, heißt Kilojoule (kJ). Ein Mann benötigt etwa 7100 kJ am Tag, eine Frau nur 6300 kJ. Stellt aus den Angaben auf den Lebensmitteln ein Menü mit Frühstück, Mittagessen und Abendessen zusammen und versucht dabei, die benötigte Energiemenge so gut wie möglich abzudecken, aber auch nicht zu weit zu überschreiten. Verwendet dazu die Rückseite!

Der Versuchsaufbau war in diesem Fall nicht schwer zu durchschauen. Er sprach vor allem SuS an, die weniger haptisch lernen. Vor allem Schülerinnen wurden durch diesen Versuch angesprochen. Viele SuS beschäftigten sich lange mit verschiedenen Kombinations-möglichkeiten. Durch diesen Versuch wurde das Thema Energie in einen weiteren Zusammenhang gestellt.

Station 23: Hörbare Energie

Im Rahmen der erfahrbaren Energie ist natürlich das Erleben von Energie mit allen Sinnen interessant. Dass man Energie auch hörbar machen kann, wird durch den folgenden versuch deutlich. Die SuS erleben in diesem Versuch hörbare Energie anhand der Materialien und der folgenden Versuchsanleitung.

Eine Batterie ist relativ schnell und einfach aufgebaut. Im Allgemeinen sind dazu zwei verschiedene Metalle und eine Säure notwendig. Diese Art von Batterie nennt man auch Galvanische Zelle, dabei wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.

Eine solche Batterie kann leicht aus einer Zitrone gebaut werden, indem zwei Elektroden in Form eines Zinkblech- und Kupferblechstreifens in die Zitrone gesteckt werden. Der Abstand der beiden Elektroden sollte etwa 1-2 cm betragen. Haltet nun den Stecker des Kopfhörers an die Zink- Elektrode und berührt mit der Kupferelektrode den Stecker.

Was könnt ihr hören?

Habt ihr das schon mal gehört, wenn ja wo?

Funktioniert dieser Versuch mit anderen Früchten oder sogar Gemüse (Kartoffeln, Gurken usw.)? Stellt eine Vermutung auf und begründet!

Der Versuchsaufbau wurde von allen SuS erfolgreich gemeistert, der Effekt war zu jeder Zeit hörbar. Vor allem SuS der Sekundarstufe I konnten sich für diesen Versuch begeistern und stellten interessante Vermutungen auf.

Versuch 24: Sonnenbank

Der Klimawandel wird nicht nur in den Medien sondern auch in der Schule stetig diskutiert. Ein interessanter Effekt, der bei der Sonneneinstrahlung auf der Erde zu beobachten ist, ist das unterschiedliche reflektierende Verhalten verschiedener Oberflächenstrukturen. Dieser Effekt kann anhand eines einfachen Modells simuliert werden.
Die SuS sollen in diesem Versuch erkennen, dass verschiedene Landschafen das Sonnenlicht unterschiedliche strakt reflektieren. Dazu dienen die Materialien und folgende Versuchsvorschrift.

Die Erde erwärmt sich. Aber warum? Auf eurem Platz findet ihr verschiedene Landschaften auf
Pappe. Spannt die Pappe in die Plastikkugel ein und verschließt die Kugel mit Knete. Dann bestrahlt die Pappe mit der Lampe und messt die Temperatur (Thermometer durch Knete) in der Kugel. Was erwartet ihr?

Unterschiedlich farbige Materialien erhitzen sich unterschiedlich gut. Das liegt daran, dass das Licht unterschiedlich stark reflektiert wird. Das könnt ihr gut beobachten, wenn ihr ein Stück Alufolie unter die Lampe haltet.

Genauso ist es auf der Erde. Welche Landschaften reflektieren das Licht am besten?
Das reflektierte Licht fällt teilweise zurück ins Weltall. Ein anderer Teil des Lichts wird aber von unserer Luft aufgehalten und fällt als Wärmestrahlung zurück auf die Erde. Das ist auch gut so, sonst wäre es hier sehr kalt. Fertige eine kurze Skizze auf der Rückseite dazu an!

Warum könnte die steigende Menge an CO_2 in der Luft einen Einfluss auf unser Klima haben?

Der Versuchsaufbau und die dazugehörige Versuchsvorschrift waren sehr simpel und wurden vor allem von jüngeren SuS begeistert aufgenommen. Der Versuch verlange von den SuS Geduld, da sich die Temperaturänderungen nicht sofort einstellten. Je ungeduldiger die SuS beim Experimentieren vorgingen, desto geringer wurde der Effekt. Grundsätzlich waren die Temperaturunterschiede nicht besonders hoch. Bei jüngeren SuS wurde durch ungenaues Ablesen das Ergebnis geringer, ältere SuS stellten das Messergebnis aufgrund der geringen Signifikanz in Frage. In der Versuchsbeschreibung sollte auf die geringe Abweichung eingegangen werden.

Station 25: Biomasse – Gut oder Schlecht

Biomasse impliziert schon vom Namen her ein umweltverträgliches Verfahren. „Bio“ kennen SuS von Lebensmittel. Dieses Gütesiegel geht immer mit eine positiven Assoziation einher. Die

Energiegewinnung aus Biomasse stellt eine vielversprechende neue Technik dar. Warum also nicht nur noch Biomasse verwenden? Energiegewinnung aus Biomasse scheint auch Nachteile zu haben.
Die SuS sollen in diesem Versuch:

- Verschiedene Biomassen kennen lernen.
- Die vor- und Nachteile von Biomasse diskutieren.

Dazu standen ihnen die Materialien sowie die folgende Anleitung zur Verfügung.

Was verbrennen, wenn das Erdöl irgendwann leer ist? Man ist darauf gekommen, dass sich Biomasse gut eignen, um daraus andere Energieträger herzustellen.
Auf eurem Platz seht ihr verschiedene Arten von Biomasse. Daraus wird in der Regel Bioöl, Biodiesel, Bioethanol oder Biogas hergestellt.
Was könnte man aus diesen Ausgangsstoffen sonst noch herstellen? Für eine Tankfüllung mit Biodiesel braucht man 200 kg Mais. Was könnte man damit noch machen?

Auf eurem Platz findet ihr Karten mit Vorteilen der Biomasseverbrennung (grün) und Karten mit Nachteilen (rot). Jeder wählt eine Farbe (wenn ihr zu dritt seid, könnt ihr einen Schiedsrichter bestimmen). Wenn sich jeder seine Karten angesehen hat, beginnt grün und liest eine Karte vor. Rot sucht aus seinen Karten ein Gegenargument. Das Pärchen wird zur Seite gelegt. Dann beginnt Rot und liest eine Karte vor, während Grün aus seinem Stapel ein Gegenargument suchen muss. Der Schiedsrichter entscheidet, ob die Argumente zusammen passen.

Die am Platz ausstehenden Materialien dienten der Anschauung und als stiller Impuls. Die SuS konnten die Materialien anfassen. Dadurch sollten vor allem haptische Lerntypen erreicht werden. Die Karten mit Vor-und Nachteilen wurden vor allem von den SuS rege diskutiert, die eine sich nicht sofort ein chemisches Experiment zutrauten. So konnten auch diese SuS einen Zugang zum Thema Energie gewinnen. Die Karten wurden in der Regel rege diskutiert. Von den SuS wurde dieser Versuch gut angenommen.

<u>Station 26: Energie und Ich</u>

Energie hat nicht nur weltpolitische Relevanz sondern betrifft auch den Lebensbereich jedes einzelnen. Nicht nur Industrie sondern auch private Haushalte verschlingen Energie. Diese Tatsache ist in der Energiediskussion von entscheidender Bedeutung.
In diesem Versuch sollen sich die SuS mit folgenden Kernaussagen auseinander setzen:

- Private Haushalte verbrauchen in Deutschland ähnlich viel Energie wie die Industrie
- Jeder verbraucht im Haushalt eine Menge Energie.

Dazu standen zwei Tortendiagramme mit dazu gehörigen losen Beschriftungen sowie die folgende Versuchsanleitung zur Verfügung.

Ich fahre doch gar nicht so viel Auto, also brauche ich nicht so viel Energie! Stimmt das? Notiere hier fünf alltägliche Dinge, die du gestern getan hast! Streiche dann an, für was du Energie
verbraucht haben könntest!

Nicht nur Autos verbrauchen Energie, sondern auch andere Dinge wie das Kochen von Essen, das Erwärmen von Wasser, u.Ä. An eurem Platz findet ihr zwei Tortendiagramme mit den einzelnen Beschriftungen. Das erste Diagramm zeigt, wie viel Energie in Deutschland in welche Zweige fließt. Das zweite Diagramm zeigt den Verbrauch der privaten Haushalte.

Sortiere die entsprechenden Beschriftungen an die Diagramme und vergleiche dann mit dem Lösungsblatt!

Habt ihr das Ergebnis erwartet?

In diesem Versuch werden die SuS dazu aufgefordert den privaten Energieverbrauch sowie den deutschen Gesamtenergieverbrauch verschiedenen Verbrauchen zu zu ordnen. Mit Hilfe eines Lösungsblattes konnten die SuS ihre Ergebnisse vergleichen und. Vor allem das Zuordnen des privaten Energieverbrauchs war nicht einfach zu Lösung und sorgte auf Seiten der SuS für Verwunderung.

Station 27: Energieerhaltung

Die Energieerhaltung ist ein wichtiges Thema im Rahmen jeder Diskussion die Energie betrifft. Nicht umsonst wird von Seiten der Wissenschaftler der Begriff der „Energiegewinnung“ völlig abgelehnt und gegen Energieumwandlung ausgetauscht. Energiegewinnung und Energieverbrauch sind aber in der Umgangssprache gebräuchliche Begriffe, die den SuS in ihrer Erfahrungswelt immer wieder begegnen. Sie in diesem Kontext einfach erklärungslos zu ersetzen macht also keinen Sinn. Die Energieerhaltung kann zudem in einem Experiment extrem schwer dargestellt werden. Einen Vergleich soll ein Experiment ermöglichen, dass in der Regel im schulischen Kontext als Demonstration für die Masseerhaltung verwendet wird.
Die SuS sollen in diesem Versuch das Gesetzt der Massenerhaltung kennen lernen. Dazu stand ihnen das Material sowie die folgende Anleitung zur Verfügung.

Energie kann nicht einfach verloren gehen und wird auch nicht aus dem Nichts gewonnen. In diesem Zusammenhang hört man oft den Begriff Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad gibt an wie viel der vorhandenen Energie nach einer Umwandlung in eine brauchbare Form noch vorhanden ist. Wind transportiert zum Beispiel eine Menge Energie, aber er kann nicht besonders gut genutzt werden um einen Toaster anzutreiben. Darum wird diese Energie in Strom umgewandelt. Bei dieser Umwandlung entsteht nicht nur Strom, sondern (in den Apparaten) auch Reibung und Wärme. Das sind Formen von Energie, die wir nur schlecht verwenden können und darum sagen wir „Energie geht verloren".

Genauso verhält es sich mit der Masse. Masse kann nicht einfach aus dem Nichts kommen oder irgendwohin verschwinden.

Auf eurem Platz findet ihr eine Balkenwaage und Stahlwolle. Hängt an jede Seite ein kleines Stückchen Stahlwolle, so dass die Waage im Gleichgewicht ist. Jetzt wird eine Seite mit einem Bunsenbrenner angezündet (lasst euch evtl. von einem Betreuer helfen). Was erwartet ihr?
Woher kommt die zusätzliche Masse der verbrannten Seite?

Wohin geht die Energie der Bunsenbrennerflamme?

Obwohl der Versuch aus dem schulischen Kontext den meisten SuS bekannt war, wurde er gerne durchgeführt. Vielleicht ist diese Tatsache auf den schön anzusehenden Effekt beim Verbrennen der Stahlwolle, oder auf die Benutzung des Bunsenbrenners zurück zu führen. Den Begriff der Massenerhaltung war den SuS in der Regel bekannt. Um einen Bezug zur Energieerhaltung zu schaffen, ist eine Nachbereitung des Versuchs unbedingt erforderlich.

Station 28: Glühbirne – hell und warm

Glühbirnen standen vor allem in den Jahren 2009/10 im Fokus der Öffentlichkeit. Durch die Einführung von Energiesparlampen wurde eine Diskussion losgelöst. Klar ist jedoch, dass bei Glühbirnen eine Menge Energie durch Wärme verloren geht. Diese Tatsache kann man mit einem einfachen Versuchsaufbau zeigen.
In diesem Versuch sollen die SuS messen, dass Glühbirnen viel Energie durch Wärme verlieren. Dazu stand eine spezielle Apparatur zur Verfügung, die es erlaubte eine Glühbirne in Wasser zu tauchen. In folgender Versuchsanleitung wurde die Durchführung beschrieben.

Wenn es um Energie geht, dann reden immer allem vom Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad gibt an,
wie viel der vorhandenen Energie effektiv in eine brauchbare Form umgewandelt werden kann.
Ein Beispiel: Durch ein Windrad wird Strom erzeugt. Dabei hat der Wind und der Strom eine gewisse Energie. Allerdings kann nicht die komplette Windenergie in Strom umgewandelt werden. Genau dasselbe Problem tritt bei einer Lampe auf: Nicht der komplette Strom wird in Licht umgewandelt. Es geht eine Menge Energie durch Wärme verloren.

An eurem Platz findet ihr eine Apparatur, in der eine Glühbirne in Wasser getaucht wurde. Daneben steht ein Becherglas mit Wasser ohne Glühbirne. Vergleicht die Temperaturen des Wassers!

Was bedeutet es für den Stromverbrauch, wenn so viel Energie in Form von Wärme abgegeben wird? Wie müsste eine Glühbirne arbeiten, um einen optimalen Stromverbrauch zu erreichen?

Der Versuchsaufbau war in diesem Fall bereits vorbereitet. Die SuS mussten lediglich die Stromquelle bedienen. Der Versuch verlangte etwas Geduld um das steigen der Temperatur zu beobachten. Vor allem SuS der Sekundarstufe II führten den Versuch genau durch und konnten gute Ergebnisse notieren.

Station 29: Sichtbarer Schall

Der Begriff Schallwelle ist in den meisten Fällen durch verschiedene Kontexte bekannt. Schall transportiert auf diese Weise Energie. Diese Energie kann sichtbar gemacht werden. Dazu bedarf es einer ganz bestimmten Versuchsapparatur.
Die SuS sollen in diesem Versuch Schallenergie sehen. Dazu wurde eine Lautsprecherbox mit einem wasserundurchlässigen Lack versehen und mit einer Masse aus Stärke und Wasser gefüllt. Durch das Anschalten des Lautsprechers kann der Schall sichtbar gemacht werden. Nach folgender Anleitung wurde verfahren:

Musik kann man hören, aber kann man sie auch sehen? In diesem Experiment wird der Schall Sichtbar gemacht.

In einem Lautsprecher, der am Platz angeschlossen ist, ist mit Wasser vermischte Stärke gegeben worden. Wenn jetzt die Lautstärke des Lautsprechers geregelt wird, kann man in der Stärke Mischung den Schall beobachten.

Was beobachtet ihr?

Schall kann Dinge bewegen: Was bedeutet das für die Energie von Schallwellen?

Experimentell war dieser Versuch kein großes Problem. Es mussten lediglich zwei Regler bedient werden. Jedoch bot der Versuch einen großen Effekt. Die Schallwellen wurden deutlich sichtbar und formierten sich immer anders. Die SuS hatten großen Spaß an diesem Versuch. Er wurde sowohl von jüngeren als auch von älteren SuS häufig durchgeführt.

Station 30: Erdgasbrand

Gas ist ein wichtiger Energieträger. Er wird in vielen Kontexten genutzt. SuS kennen Gas vielleicht von Campingausflügen oder von dem Umgang mit Bunsenbrennern in der Schule. Erdgas muss aber korrekt gehandhabt werden, damit es nicht zum Sicherheitsrisiko wird.
In diesem Versuch sollten die SuS die Brennbarkeit von Erdgas erleben. Dazu wurde ein einfacher Aufbau sowie folgende Anleitung gewählt.

Erdgas eignet sich gut, um durch seine Verbrennung Strom zu gewinnen. Wie gut Erdgas brennt, seht Ihr im folgenden Versuch.
Bei diesem Versuch ist es unbedingt notwendig einen Betreuer zu rufen!
Im Abzug steht ein Becherglas mit Spüli-Wasser. Der Betreuer leitet nun Gas, das eigentlich für den Bunsenbrenner gedacht ist, mit dem Schlauch in die Spülilösung, bis eine kleine Schaumwolke entsteht. Das Gas wird ausgemacht, der Schlauch zur Seite gelegt und der Schaum wird mit einem Feuerzeug angezündet. Was beobachtet ihr?

Warum muss zuerst der Gashahn geschlossen werden, bevor der Schaum angezündet wird?

Erdgas wird zum Teil über lange Pipelines transportiert. Welche Sicherheitsrisiken hat dies?

Bei diesem Versuch wurden die SuS dazu aufgefordert unbedingt einen Betreuer hinzu zu ziehen. In der Regel konnten die SuS den Versuch dann selbst durchführen. Aus sicherheitstechnischen Gründen war es jedoch notwendig die Durchführung des Versuchs von einem Betreuer beobachten zu lassen. Die Versuchsdurchführung wurde von SuS aller Altersstufen gut bewältigt. Nachdem sie den Effekt einmal gesehen hatten, führten die meisten den Versuch weitere Male durch. Der Versuch wurde von den meisten SuS durchgeführt. Viele Gruppen stellte interessierte Fragen und waren begeistert von diesem Versuch.

Station 31: Bioethanol

Bioethanol ergänzt immer mehr unseren Treibstoff und ist daher Bestandteil der Debatte um den Energiemix von Morgen. In verschiedenen Ländern Südamerikas fahren heute schon Autos auf Ethanolbasis. Ethanol ist zudem eine wichtige Verbindung in der organischen Chemie und kann auch dahingehend untersucht werden.

In diesem Versuch sollen die SuS die brennbaren Eigenschaften von Bioethanol sowie den Gärungsprozess als Herstellungsmethode von Bioethanol kennen lernen. Folgende Versuchsanleitung lag dafür zu Grunde.

Bioethanol ist Ethanol, das durch die Vergärung von Biomasse gewonnen wird. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um Bioethanol herzustellen. Industriell werden Zuckerrüben oder Weizen verwendet. An eurem Platz seht ihr Beispiele aus dem Vorgang der Weizenvergärung. Wie geht der Vorgang wohl vor sich?

Bioethanol wird als Treibstoffzusatz verwendet. Gebe ein wenig Ethanol in die Porzellanschale und zünde ihn an!

Was haltet ihr von der Herstellung von Treibstoff aus Weizen? Was könnte man mit dem Weizen noch herstellen

Der für die SuS interessantestete Teil dieses Versuchs war das Anzünden des Ethanols. Auch wenn die Flamme nicht dem Erdgasbrand zu vergleichen war, wurde der Effekt deutlich. Was den Gärungsprozess betrifft, so war für die SuS vor allem der letzte Teil der Aufgabe interessant. Die Herstellung von Bioethanol aus Nahrungsmittel wurde so thematisiert und in den Gruppen aufgenommen.

Station 32: Radioaktive Strahlung

Radioaktive Strahlung ist ein hoch relevantes Thema wenn es um die Kernkraftdebatte geht. Unfälle aus der Vergangenheit haben gezeigt, wie katastrophal die Auswirkungen austretender radioaktiver Strahlung sein können. In diesem Versuch sollen die SuS die drei verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung kennen lernen. Dazu wurde ein Modell, ein Periodensystem sowie die folgende Anleitung zur Verfügung gestellt.

Eine Menge Strom, der in Deutschland verbraucht wird, ist Strom aus Kernenergie. Dabei laufen
Reaktion in den Reaktoren ab, die den Atomkern betreffen. Ein Atomkern besteht aus zwei verschiedenen Teilchen: positiven Protonen und neutralen Neutronen. Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten, wie ein Element radioaktiv strahlen kann. An eurem Platz findet ihr ein Modell-Atomkern. Die roten Kugeln stellen die Protonen, die weißen die Neutronen dar. Versucht mit Hilfe des Modells die radioaktive Strahlung nachzubauen.
Alpha-Strahlung: Wenn ein Element ein Alpha-Strahler ist, werden aus dem Atomkern Heliumkerne ausgestoßen. Ein Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen.
Beta-Strahlung: Wenn ein Element ein Beta-Strahler ist, zerfällt in seinem Kern ein Neutron in ein Elektron und ein Proton. Da das Elektron negativ geladen ist, wird es aus dem Kern ausgestoßen (Elektronen sind Holzkugeln).
Gamma-Strahlung: Gamma-Strahlung lässt sich schlecht am Modell zeigen, es handelt sich dabei um sehr energiereiche Wellen. Der Kern verliert dabei also Energie.
Stellt eine Vermutung auf, welche Strahlung für Menschen am gefährlichsten ist und begründet eure Wahl!
Im Kernreaktor laufen allerdings andere Reaktionen ab. In der Regel wird ein Urankern mit einem Neutron beschossen. Ein Urankern besteht aus 92 Protonen und 143 Neutronen. Wenn das Neutron auf den Kern trifft, spaltet sich der Ken in zwei Urankern-Spaltstücke. Dabei werden bis zu drei weitere Neutronen frei, die erneut auf einen Urankern treffen können. Die Spaltstücke können eine Massenzahl (Neutronen + Protonen) zwischen 95 und 140 haben. Werft einen Blick ins Periodensystem und überlegt euch drei theoretische Kombinationsmöglichkeiten. Dabei muss die gesamte Massenzahl zwischen 235 und 232 liegen! Warum?

Dieser Versuch gestaltete sich sehr theoretisch. Vor allem für SuS niedrigerer Jahrgänge waren manche Aufgabe nicht zu lösen. Der Versuch wurde entweder gemieden, oder sehr präzise und mit vielen Nachfragen durchgeführt.

Station 33: Atomkraft – Ja oder Nein?

Die Atomkraftdebatte findet nicht nur auf politischer Ebene statt. Auch in privaten Kontexten wird immer häufiger über Kernkraft diskutiert. Oft wird erwartet, dass man eine klare Stellung für oder gegen Kernkraft bezieht. Allerdings ist diese Meinungsbildung nur auf der Basis von Fakten möglich. Um eine Diskussion von SuS zu fördern kann das Vorgehe von Pro und Kontra Stichpunkten hilfreich sein.

Die SuS sollen mit Hilfe dieses Versuchs:

- Pro und Kontra Argumente der Kernkraft kennen lernen.
- Diese Argumente gegeneinander abwägen.

Dazu wurden die Karten sowie folgende Versuchsanleitung vorgelegt.

Die Kernkraftwerke werden im Moment stark diskutiert. Viele Atomkraftgegner sind dafür die
Kraftwerke komplett und sofort zu schließen. Auf der anderen Seite gibt es auch viele Atomkraftbefürworter.

Auf eurem Platz findet ihr Karten mit Argumenten für (grün) und gegen (rot) Atomkraftwerke. Mischt die Karten sorgfältig und legt sie verkehrtherum auf einen Stapel. Jetzt nimmt einer von euch die Seite der Atomkraftgegner ein, der andere die Seite der Atomkraftbefürworter (wenn ihr zu Dritt seid, dann teilt euch auf!). Der Atomkraftbefürworter zieht immer wenn eine rote Karte oben liegt und liest vor. Daraufhin sich muss der Atomkraftgegner ein Gegenargument überlegen. Geht andersherum vor, wenn eine grüne Karte oben liegt!

Wenn der Stapel leer ist, sucht aus den Karten je zwei Argumente für und zwei Argumente gegen Atomkraft aus, die ihr am wichtigsten findet und notiert sie euch!

Es war interessant zu beobachten, dass viele SuS diesen Versuch sehr gründlich durchführten. Die SuS nutzen die Gelegenheit sich zu informieren und diskutierenden anschließend anhand der Karten. Anschließend erhielten die SuS die Gelegenheiten die für sie wichtigsten Punkte zu notieren. Diese Aufgabe diente dazu, dass sich die SuS auf einer persönlichen Ebene mit den Argumentierkarten auseinander setzten.

Station 34: Ein sonniges Plätzchen

Solarenergie wird als eine der vielversprechendsten erneuerbaren Energie gehandelt. Das ist sicherlich auf den Umstand zurück zu führen, dass die Technik bereit für jedermann erhältlich ist. Auf der anderen Seite sind die Wirkungsgrade der Solaranlage nicht immer zufrieden stellend. Diesem Umstand könnte man entgegenwirken, indem man Solaranlagen dort platziert, wo die Sonne stetig scheint. Das birgt aber zudem politische Risiken.
In diesem Versuch sollen die SuS folgende Punkte behandeln:

- Die Sonneneinstrahlung ist auf der Welt unterschiedlich strakt verteilt.
- Es gibt einen Plan, nach dem Strom aus der Sahara gewonnen werden soll.
- Beim Transport des Stroms aus der Sahara könnten Probleme auftreten.

Den SuS stand dazu ein Globus, eine Landkarte sowie die folgende Versuchsanleitung zur Verfügung.

Die Sonne ist für jeden da! Aber ist auch für jeden gleich viel Sonne da? Auf eurem Platz seht ihr einen Globus. An welchen Orten wird die Sonnenstrahlung am intensivsten sein? Schreibt drei Orte auf und begründet!

Solaranlagen funktionieren dann am besten, wenn sie eine hohe Sonneneinstrahlung genießen können. Wo würdest du Solaranlagen aufstellen, um möglichst nah an Deutschland Strom zu gewinnen.

In einem neuen Projekt sollen Solaranlagen in der Sahara aufgestellt werden. Der Strom soll dann per Stromleitung zu uns kommen. Auf der Landkarte siehst du Afrika und Europa. Ihr findet am Platz Stecknadeln und einen Faden. Steckt den Weg der Stromleitung aus der Sahara bis nach Gießen ab! Welche Möglichkeiten gibt es? Welche Probleme könnten auftreten?

Es konnte beobachtete werden, dass viele SuS diesen Versuch gründlich durchführten. Vor allem SuS der Sekundarstufe I fanden den Versuch ansprechend. Es wurden verschiedene Wege auf der Karte abgesteckt und verschiedene Probleme diskutiert.

Station 35: Licht aus der Stichsäge

Zur Umwandlung des Lichts in nutzbare Energie gehört die Theorie des Lichts. Wie Licht Energie transportiert und wie es anschließend nutzbar gemacht werden kann beschreibt komplexe physikalische Zusammenhänge. Lichtwellen und ihre Eigenschaften und Funktionen sind manchmal nur sehr abstrakt darstellbar. Dieses Experiment soll dazu dienen Lichtwellen mit Hilfe eines Modelles nachzuahmen und sichtbar zu machen.
In diesem Versuch sollten die SuS Wellen an einem Modell selbst erzeugen und das Verhältnis von Wellenlänge und Energie einschätzen lernen. Dazu stand ein Stichsägenmodell zur Verfügung, dass leicht bedient werden kann. In folgender Anleitung ist der Versuch beschrieben.

Sonnenlicht besteht aus Wellen, die sehr energiereich sind. Es ist nicht leicht sich das vorzustellen, aber es gibt ein Modell dazu.

An diesem Platz findet ihr ein Modell, das Wellen erzeugt. Ruft zu diesem Zweck einen Betreuer. Die Stichsäge wird eingeschaltet und über einen Transformator geregelt. Die Geschwindigkeit wird langsam erhöht, bis eine stehende Welle entsteht. Die Welle, die von der Stichsäge auf das Seil übertragen wird, hat jetzt eine bestimmte Wellenlänge.

Jetzt wird die Geschwindigkeit weiter erhöht bis eine deutliche Welle zu sehen ist, die die Hälfte der Wellenlänge hat.

Je nachdem welche Wellenlänge eine Welle hat, transportiert sie mehr oder weniger Energie. Stellt eine Vermutung auf: In welchem Verhältnis stehen Wellenlänge und Energie?

Zum Durchführen des Versuchs wurde von den SuS ein Betreuer zugezogen. Dies diente ausschließlich der Sicherstellung der Gerätschaften. Bei zu hoch geregelten Transformator läuft die

Versuchsapparatur Gefahr auseinander zu fallen. Die SuS regelten dann den Transformator selbst und beobachteten das gespannte Gummiseil. Bei langsamen Regeln wurden die stehenden Wellen mit keinem, einem und zwei Knotenpunkten sichtbar. Die letzte Aufgabe forderte den Transfer sich zu überlegen, wie die Wellenlänge mit der Energie zusammen hängt. Die meisten SuS formulierten ohne größere Probleme, dass die Stichsäge bei kleinen Wellenlängen mehr Energie aufwenden muss. Das Modell ist sehr geeignet, um den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Energie zu verdeutlichen.

Station 36: Luft als Antriebskraft

Im Themengebiet Windkraft wird Luft als Antriebskraft verwendet. Im folgenden kleinen Versuch wird ein Luftstrom simuliert.

Die SuS sollten erkennen, dass ein Luftstrom als Antrieb dienen kann. Dazu dient das Auto sowie folgende Anleitung.

Luft kann auch als Antrieb verwendet werden. Dazu findet ihr an eurem Platz ein Auto mit Luftballon.
Pustet den Luftballon durch den Auspuff aus und haltet den Auspuff sofort zu, damit keine Luft
Entweichen kann. Setzt das Auto dann auf dem Boden ab und lasst den Ballon los.
Ganz einfach, oder?! Warum aber fährt das Auto?

Wiederholt den Versuch noch weitere zwei Mal. Einmal blast ihr den Ballon nur ganz wenig auf, ein zweites Mal pustet den Ballon sehr groß auf. Vergleicht die Geschwindigkeit des Autos! Was könnt ihr daraus für Windräder schließen? Wenn ihr Windräder bauen würdet, wo würdet ihr sie aufstellen und warum?

Dieser Versuch sprach vor allem jüngere SuS an. Der Aufbau war einfach und der Effekt leicht zu erkennen. Der Zusammenhang zwischen einer strömenden Menge Luft und der Bewegung des Fahrzeugs wurde einfach geknüpft. Im letzten Teil der Aufgabe wurde theoretisch auf Windräder übergeleitet. Die SuS formulierten, dass sie Windräder dort aufstellen würden, wo viel Wind weht, also wo der Luftstrom möglichst groß ist.

Station 37: Windräder

Windräder gelten als ein hervorragendes Beispiel für alternative Energien. Ihre Funktionsweise ist Schülerinnen und Schülern in der Regel einsichtig. Trotzdem eignet sich die Windradtechnik sehr gut, um einfache Versuche damit durchzuführen.

In diesem Versuch sollten die SuS verschiedene Windrad Modelle miteinander vergleichen. Dazu wird ein Anleitung zum selber bauen eines Windrads sowie zwei weitere Modelle zur Verfügung gestellt. Folgende Versuchsanleitung begleitete den Versuch.

Der Wind wird in den letzten Jahren immer mehr als Energiequelle genutzt. Windräder lassen sich
ganz einfach selbst bauen. Benutze dazu die Materialien und die Anleitung am Platz.
Testet euer Modell auf dem Balkon.

Am Platz findet ihr zwei bereits aufgebaute Modelle eines Windrades. Vergleicht euer selbst gebautes Modell damit!
Bringt das Modell mit dem Ventilator zum Laufen. Verändert die Stellung der Flügel an dem größeren Rad, um das Windrad maximal schnell zu machen! Wie stehen die Flügel am besten?

Am Generator (der Strom erzeugt) ist eine LED angeschlossen. Dreht das größere Windrad so schnell, bis sie leuchtet! In Wirklichkeit kann man natürlich nicht am Windrad drehen, wenn der Wind zu schwach ist. Welchen Nachteil können also moderne Windkrafträder haben?

Den SuS fiel es nicht schwer mit Hilfe der Anleitung ein eigenes Windrad zu bauen und es mit den Modellen am Platz zu vergleichen. Vor allem männliche Schüler der Sekundarstufe I verbrachten viel Zeit damit die Stellungen der Flügel des Windrads zu verändern und die Unterschiede zu beobachten. Der Nachteil, dass Wind nicht ständig weht und so zu mancher Zeit Windräder stillstehen müssen, wurde von den meisten SuS erkannt.

Station 38: Kraft des Wassers

Die Kraft des Wassers wurde schon im geschichtlichen Verlauf sehr früh dafür verwendet, Apparate anzutreiben. Auch heute kann Wasser nutzbare Energie erzeugen. Den größten Teil der durch Wasserskraft erzeugten Energie stammen aus Staumauern. In jedem Fall ist fließendes Wasser von Nöten um Energie zu erzeugen. In diesem Versuch werden verschieden Wasserräder vorgestellt.
Die SuS sollen in diesem Versuch Wasserräder untersuchen und diese Methode mit Windkrafträdern vergleichen.

Wasserkraft wurde schon vor vielen Jahrhunderten verwendet, um den Menschen die Arbeit zu erleichtern. Jeder kennt bestimmt eine Mühle an einem „rauschenden Bach".
An eurem Platz findet ihr zwei Modell einer Wasserkraftanlage. Probiert das eine Modelle aus. An dem anderen Modell kann man die Funktionsweise eines Wasserrades gut erkennen. Wie arbeiten sie?

Welchen Vorteil könnte die Nutzung von fließendem Wasser im Gegenteil zu Wind haben?

Der Gebrauch des größeren Wassermodells bereitete einige Schwierigkeiten, da die Zahnräder sehr schwerfällig waren. Das kleinere Modell betrieb eine LED, doch der Mechanismus wurde nicht klar. Es muss ein gelungeneres Modell für ein Wasserkraftrad gefunden werden.

4.1.3 Unterrichtsmaterial: Kernkraft

4.1.3.1 Kompetenzerwerb

Kernkraft ist ein Thema, dass polarisiert und genauso bivalent wird Kernkraft auch in den Medien behandelt. Schülerinnen und Schüler bringen Kernkraft sofort in Beziehung mit Tschernobyl, mit explodierenden Kernkraftwerken und mit gefährlicher, radioaktiver Strahlung. Diese Fakten sind natürlich völlig korrekt und es ist selbstverständlich positiv mit den jetzigen Schülerinnen und Schülern eine Generation vor sich zu haben, die dem Thema Kernkraft kritisch gegenüber steht. Aber genauso wichtig ist es, eine gewisse Skepsis gegenüber den Medien zu generieren. Auch wenn in der Schule das Thema der Kernenergie zur Sprache kommt, bilden sich Schülerinnen und Schüler ihre Meinungen viel eher über populäre Medien.

Dieses Kapitel soll sowohl Kernkraftgegner als auch Kernkraftbefürworter ansprechen: wenn man über Kernkraft diskutiert, solltet man wissen, was Kernkraft eigentlich ist. Man sollte die Nachteile genauso gut kennen wie die Vorteile. Es reicht nicht aus Kernkraftgegner zu sein, nur weil die Medien die Kernkraftwerke verteufeln. Um in einer Diskussion bestand haben zu können, muss man wissen, von was man spricht. Es genügt aber auch nicht, wenn man weiß wie viel Energie mit Kernkraft generiert werden kann, wenn man die Gefahren radioaktiver Strahlung nicht kennt.

In einer Umfrage unter Schülerinnen und Schüler fragte ein Mädchen zum Thema Energie der Zukunft: „Warum kann man die Kernkraftwerke nicht einfach ausschalten?“. Noch viel öfter wurde gefragt: „Was ist eigentlich gefährlich an einem Kernkraftwerk?“. Dieses Ergebnis zeigt, dass das Thema der Kernenergie keineswegs aus der Mode gekommen ist.

Schülerinnen und Schüler haben Interesse an diesem Thema, dass den Erwachsenen oft schon so abgenutzt erscheint. Sie bekommen viel zu Ohren, aber die Verknüpfung zwischen den naturwissenschaftlichen Grundlagen und den direkten Auswirkungen und der aktuellen Kernkraftdiskussion muss oft noch hergestellt werden.

<u>Voraussetzungen</u>

Das Material ist für Schülerinnen und Schüler der Klassen 10 bis 13 geeignet. Je nachdem welche Voraussetzungen die Schülerinnen und Schüler mitbringen, muss der naturwissenschaftliche Einstieg mehr oder weniger umfangreich gestaltet werden. Unbedingte Voraussetzung ist die Kenntnis des Atomaufbaus. Die Schülerinnen und Schüler sollten dazu in der Lage sein, anhand des Periodensystems zu berechnen, wie viele Elektronen, Protonen und Neutronen ein Element besitzt. Im Idealfall kennen die Schülerinnen und Schüler den Begriff des Isotops und wissen, was Isotope sind. Es empfiehlt sich allerdings diese Grundlagen zu wiederholen.

Lernziele

1. Teil: Instabil – Warum Uran nicht bleibt wie es ist

Im ersten Teil „Instabil - Warum Uran nicht bleibt wie es ist“ wird schwerpunktmäßig die radioaktive Strahlung an sich behandeln. Folgende Fragen stehen im Vordergrund: Was ist radioaktive Strahlung? Welche Arten gibt es? Wie tief dringt radioaktive Strahlung in Materie ein?

Nach dieser Einheit sollten die Schülerinnen und Schüler:

- den Atomaufbau sicher erklären können.
- den Begriff „Isotop“ erklären können und den Aufbau vorgegebener Isotope berechnen können.
- die „Bestandteile“ von Alpha-, Beta-, und Gammastrahlung beschreiben können.
- begründen können, warum naturwissenschaftliches Wissen über Atome für die Kernkraftdiskussion relevant ist.

Diese erste Einheit bietet das Fundament. Sie gibt den Schülerinnen und Schülern die nötige naturwissenschaftliche Information um schließlich zu einem fundierten Urteil zu gelangen.

2. Teil: Wie ein Atomkraftwerk funktioniert

Im zweiten Teil „Wie ein Atomkraftwerk funktioniert“ sollen die Schülerinnen und Schüler hinter die Kulissen eines Atomkraftwerks schauen. Im Vordergrund stehen folgende Fragen: Wie funktioniert ein Atomkraftwerk? Wie schützen sich die Arbeiter im Atomkraftwerk? Wie sicher ist ein Atomkraftwerk?

Nach dieser Einheit sollen die Schülerinnen und Schüler:

- den Aufbau einer Atomkraftwerks grob wiedergeben können.
- die atomaren Prozesse im Atomkraftwerk angeben können.
- die Sicherheitsmaßnahmen eines Atomkraftwerks benennen und bewerten können.
- die Vor- und Nachteile von Atomkraftwerken benennen können.
- den Aufbau verschiedener Syllogismen sowie wiedergeben und eigene Beispiele finden können.
- die Regeln des logischen und ethischen Argumentierens auf den Sachverhalt der Atomkraft anwenden können.
- einen ethischen Fragekreis anwenden erstellen und anwenden können.

3. Teil: Radioaktiver Müll

Nachdem geklärt wurde, welchen punktuellen Schaden ein zerstörtes Atomkraftwerk anrichten kann, soll in diesem dritten Teil „Radioaktiver Müll“ offen gelegt werden, welchen Abfall ein Atomkraftwerk produziert. Folgende Fragen stehen dabei im Vordergrund: Was stößt ein Atomkraftwerk aus? Was ist radioaktiver Müll? Was passiert mit dem radioaktiven Müll?

Nach dieser Einheit sollten die Schülerinnen und Schüler:

- erklären können, dass ein Atomkraftwerk zwar kein Treibhausgas produziert, dafür aber radioaktiven Müll.
- wiedergeben können, woher der radioaktive Müll stammt und wohin er gebracht wird.
- eine Meinung zu der Lagerung von radioaktiven Müll formulieren können.
- den Begriff des Gewissens erklären und mit der eigenen Meinung über Kernkraft in Zusammenhang bringen können.

4.1.3.2 Teil 1: Instabil: Warum Uran nicht bleibt wie es ist

Atomaufbau

Der Atomaufbau ist elementar wichtig, wenn im Folgenden über radioaktiven Zerfall gesprochen werden soll. Den Schülerinnen und Schülern sollte der Aufbau von Atomen klar sein.

Zunächst ist es wichtig zwischen der Schale und dem Atomkern zu unterscheiden. Zur Veranschaulichung wird das Bohr'sche Atommodell gebraucht: Die negativen Elektronen (blau) befinden sich auf den Schalen und umkreisen den Atomkern, in dem Protonen (rot) und Neutronen (weiß) zu finden sind. Ist ein Atom nach außen nicht geladen, hat es gleichviele negative Elektronen wie positive Protonen. Die Neutronen sind nicht geladen und können bei dieser Rechnung vernachlässigt werden.

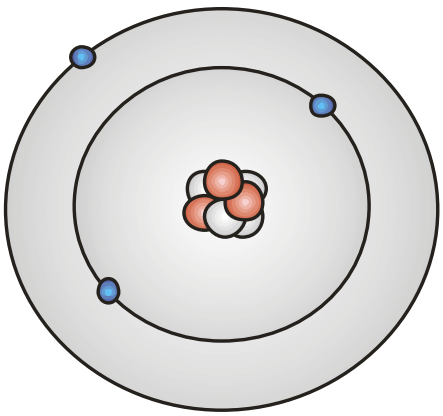


Abb. 129: Bohr’sches Atommodell

Handelt es sich allerding um ein Ion, hat es einen Elektronenüberschuss (Anion=negativ geladen) oder einen Elektronenmangel (Kationen=positiv geladen).

Die Anzahl der in einem Atom enthalten Elektronen, Neutronen und Protonen lassen sich aus dem Periodensystem errechnen. Die Ordnungszahl gibt die Anzahl der Protonen im Kern und (bei nach außen neutralen Atomen) die Anzahl der Elektronen auf der Schale an. Die Massenzahl gibt die Anzahl aller Teilchen im Kern an, also aller Protonen und Neutronen zusammen. Sie wird so

genannt, weil die größte Masse eines Atoms im Kern lokalisiert ist. Die Masse der Elektronen ist im Verhältnis viel kleiner. Zieht man die Anzahl der Protonen, also die Ordnungszahl, von der Gesamtanzahl der Kernteilchen (Nukleonen), ab, so erhält man die Anzahl der nicht geladenen Neutronen. Folgende Abbildung veranschaulicht den Sachverhalt an einem Beispiel:

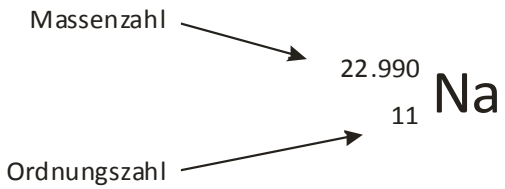


Abb. 130: Das Element Natrium

Natrium hat die Ordnungszahl 11. Es hat also 11 Elektronen auf der Schale und elf Protonen im Kern. Im herauszufinden, wie viele Neutronen es hat, muss man die Anzahl der Protonen (11) von der Anzahl der gesamten Kernteilchen abziehen, die durch die Massenzahl geben ist. Natrium besitzt eine Massenzahl von 22,990. Das heißt, es besitzt 11,990 Neutronen im Kern (22,990 – 11).
Mit dieser Methode sollten die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein, bei allen Elementen des Periodensystems zu berechnen, wie groß die Anzahl von Elektronen, Protonen und Neutronen in einem Atom ist. Wichtige Vokabeln in diesem Zusammenhang sind: Elektronen, Protonen, Neutronen, Nukleonen, Nukleonenzahl und Kern-ladungszahl (Anzahl der Protonen). Diese Begriffe sollten die Schülerinnen und Schüler kennen und definieren können.
Alle Atome eines Elements haben wie gerade besprochen dieselbe Anzahl Elektronen und Protonen. Allerdings können sich die Neutronenzahlen unterscheiden. Wenn Elektronen und Protonenzahl gleich sind und sich das Atom nur in der Anzahl der Neutronen von einem anderen unterscheidet spricht man von Isotopen. Die folgende Abbildung verdeutlicht das Gesagte:

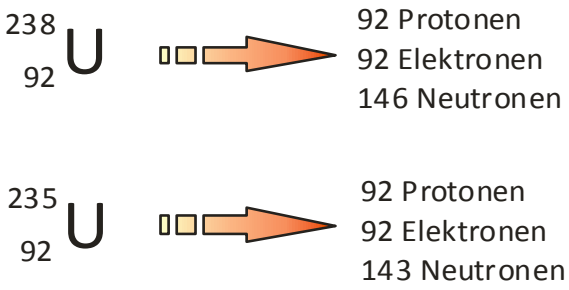


Abb. 131: Uranisotope

Wie man sieht, handelt es sich bei den beiden Nukliden immer um Uran. Das Atom hat also dieselbe Anzahl an Protonen und Elektronen. Diese Tatsache wird durch die Ordnungszahl angegeben, welche dem Zahlenwert der Kernladungszahl entspricht. Die Massenzahl hingegen gibt wie gesagt die Anzahl der Nukleonen an. Zieht man die Ordnungszahl 92 von den unterschiedlichen Massenzahlen ab, so erhält man unterschiedliche Anzahlen an Neutronen. Die Massenzahl hat also denselben Zahlenwert wie die Nukleonenzahl. Ein Element kann also verschiedene Isotope besitzen,

was den Kommawert erklärt, der im Periodensystem die Masse angibt. Dabei handelt es sich um einen Mittelwert über alle Isotope.
Beim Zerfall von Atomkernen spielen die Isotope eine entscheidende Rolle. Isotope begegnen uns auch bei der C^{13}-Methode zur Altersbestimmung von Fossilien. C^{13} ist ein Isotop des Kohlenstoffs, welches 13 Nukleonen besitzt und mit einer bestimmten Halbwertszeit zerfällt. Unter Halbwertszeit versteht man den Zeitraum, in dem genau die Hälfte der Ausgangssubstanz zerfallen ist. Liegen (ganz theoretisch) 20 Atome vor, sind nach der Halbwertszeit genau zehn zerfallen.

Radioaktive Strahlung

Wenn ein Element radioaktiv ist, zerfällt sein Kern, weil dieser instabil ist. Bei radioaktiver Strahlung allgemein handelte es sich um eine spontane Kernumwandlung. Instabile Atome zerfallen spontan. Es handelt sich meist um schwere Kerne, die mehr als 83 Protonen haben. Grundsätzlich unterscheidet man drei verschiedene Arten radioaktiver Strahlung.

α-Strahlung

α-Strahlung besteht aus Heliumkernen (schwarz hinterlegt), also aus zwei Protonen und zwei Neutronen, wie die folgende Abbildung zeigt.

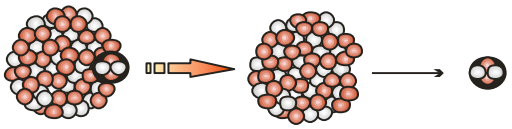


Abb. 132: α-Strahlung

Die Kernladungszahl verringert sich hier um 2 (der verbleibende Kern hat 2 positive Ladungen weniger). Die Nukleonenzahl verringert sich um 4. Es gehen 4 Kernteilchen aus dem Atomkern heraus (2 Protonen, 2 Neutronen). Eine Zerfallsreihe für den α-Zerfall wird wie folgt geschrieben:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

Abb. 133: Zerfallsreihe

Die oben stehende Massenzahl wird um 4 verringert, weil vier Nukleonen den Kern verlassen. Die Ordnungszahl verringert sich um 2, weil zwei Protonen den Kern verlassen. So entsteht ein neues Element, das durch die neue Ordnungszahl charakterisiert ist.

β-Strahlung

β-Strahlung besteht aus Elektronen. Allerding kommen die Elektronen nicht aus der Hülle, sondern aus dem Kern. Dabei zerfällt ein Neutron aus dem Kern in ein Proton und ein Elektron.

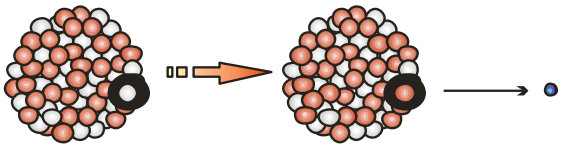


Abb. 134: β-Zerfall

Das schwarz unterlegte, weiße Neutron in Abbildung 134 zerfällt in ein Proton, das im Kern verbleibt und in ein blau dargestelltes Elektron, das den Kern verlässt. Eine entsprechende Zerfallsreihe wird wie folgt geschrieben:

$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{40}_{20}K + e^-$$

Abb. 135: Zerfallsreihe

Die Kernladungszahl erhöht sich hier um eins, da ein zusätzliches Elektron und ein Proton entsteht, wobei letzteres im Atomkern bleibt. Es liegt also ein neues Element vor. Da allerdings ein Neutron dabei zerfällt, bleibt die Massenzahl gleich.

γ-Strahlung

Bei γ-Strahlung handelt es sich um energiereiche elektromagnetische Strahlung. Dabei verändert sich weder die Massenzahl noch die Ordnungszahl. Das Atom geht lediglich in einen energieärmeren Zustand über.

Abb. 136: γ-Strahlung

Die Schülerinnen und Schüler sollten die verschiedenen Strahlungsarten benennen können. Für die weitere Betrachtung wird zudem wichtig sein, dass die Schülerinnen und Schüler nachvollziehen, dass die unterschiedlichen Strahlungsarten auch unterschiedliche Eindringtiefen haben. So durchdringt γ-Strahlung die Materie tiefer als β-Strahlung und diese wiederum tiefer als α-Strahlung. Dieses Phänomen steht in direktem Zusammenhang mit der Größe der Teilchen. Heliumkerne sind größer als Elektronen und diese wiederum sind größer als elektromagnetische Strahlung.

Schon ein Blatt Papier kann die schweren, großen und langsamen Heliumkerne der α-Strahlung aufhalten. Die Elektronen der β-Strahlung haben eine höhere Reichweite und können durch dünne Metallplatten aufgehalten werden. Die elektromagnetischen γ-Strahlen hingegen haben eine sehr

hohe Durchdringfähigkeit und können nur mit dicken Metallplatten von der Umgebung abgeschirmt werden.

4.1.3.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Instabil – Warum Uran nicht bleibt wie es ist“

Zum Einstieg

Stehparty

An der Tafel wird eine These oder eine Frage notiert. Beispiele: Alle Kernkraftwerke sollten sofort abgeschaltet werden! oder: Welche Einstellung hast du zum Thema Kernkraft? Die Schülerinnen und Schüler bekommen zwei Minuten Zeit, über die These/Frage nachzudenken. Dann stehen alle auf und die Stehparty beginnt. Die Schülerinnen und Schüler schlendern durch den Raum und treffen sich bei einem akustischen Signal (Glocke/in die Hände klatschen) zu zweit. Dann bekommen sie drei Minuten Zeit mit ihrem Partner über die These zu diskutieren. Dabei sollte jeder die Möglichkeit bekommen, sich zu äußern. Nach drei Minuten ertönt ein weiteres Signal. Die Schülerinnen und Schüler bewegen sich weiter durch den Raum, bis zum nächsten Signal. Das Partnergespräch beginnt erneut. Dabei muss in jeder Runde ein neuer Partner gefunden werden. Der Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.

Vorteile: Bei den Schülerinnen und Schülern wird Vorwissen aktiviert. Außerdem treffen sie mit jedem neuen Partner auf eine neue Meinung und werden so mit verschiedenen Standpunkten konfrontiert. Die Stehparty lässt sich unabhängig von Platz und Material durchführen. Alleine eine Uhr ist hilfreich.

Blitzlich

Es wird eine offene Frage gestellt, wie zum Beispiel: Was fällt euch als erstes ein, wenn ihr Atomkraft hört? Die Schülerinnen und Schüler äußern sich der Reihe nach mit nur einem Satz oder einem Schlagwort. Die Äußerung soll spontan erfolgen, weshalb die Schülerinnen und Schüler keine lange Bedenkzeit brauchen, was die Gesamtzeit dieser Methode sehr verkürzt. Nachdem sich jede Schülerinn und jeder Schüler geäußert hat, entsteht ein Gesamtbild, auf dem aufgebaut werden kann.

Quiz

Diese Methode ist zum Einstieg geeignet, wenn die Schülerinnen und Schüler bereits wissen, was radioaktive Strahlung ist. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, sich in Partnerarbeit Fragen zum Thema Radioaktivität auszudenken und auf farbige Karten zu notieren. Schließlich liest jedes Paar die eigene Frage vor. Durch hereinrufen des Namens wird ermittelst, wer antworten darf. Die Schülerinn oder der Schüler, die/der die Frage korrekt beantwortet hat, bekommt die Karte. Wer die meisten Karten gesammelt hat, erhält einen kleinen Preis.

Ungleiche Diskussion

Ein kurzer Dialog wird im Plenum in verschiedenen Rollen gelesen. Dazu kann Arbeitsblatt 1 verwendet werden. In diesem Dialog diskutieren zwei Jugendliche miteinander über Kernkraft. Sie sind unterschiedlicher Meinung, aber der Kernkraftbefürwortet hat die besseren Argumente, kennt sich besser aus. Schließlich muss der Atomkraftgegner das Handtuch werfen. Nach dem Lesen des Textes wird die Frage gestellt, was der Kernkraftgegner hätte wissen müssen, um in der Diskussion bestand zu haben. Die Schülerinnen und Schüler sammeln ihre Überlegungen auf farbigen Blättern (ein Punkt pro Blatt). Die Blätter werden danach einzeln besprochen und sortiert an der Wand befestigt, wo sie bis zum Ende der Einheit hängen bleiben können. An der Wand hängen dann also alle Punkte, welche die Schülerinnen und Schüler für wichtig halten um in einer Diskussion zu bestehen. Es wird auf die Wichtigkeit der verschiedenen Punkte hingewiesen. Den Schülerinnen und Schülern wird in Aussicht gestellt, dieses Wissen in der nun folgenden Einheit erlangen können.

Arbeitsaufträge

Elementen-Ball

Die Klasse wird in zwei große Gruppen aufgeteilt. Jede Schülerinn und jeder Schüler erhält ein Periodensystem. Per Zufall (losen, eine Münze werfen….) wird entschieden, welche Gruppe beginnt. Eine Schülerin oder ein Schüler der Gruppe, die beginnt, bekommt einen Ball (oder auch ein zu einem Ball zerknülltes Papier). Sie/er nennt eines beliebiges Element aus dem Periodensystem und wirft den Ball einer Schülerin oder einem Schüler der anderen Gruppe zu. Diese(r) muss dann so schnell wie möglich Protonen-, Elektronen-, und Neutronenzahl nennen. Geschieht dies richtig, erhält die Gruppe einen Punkt und der Schüler erhält darf ein neues Element nennen. Der Ball wird erneut geworfen und bestimmt so den nächsten Schüler, der an der Reihe ist. Benennt der Schüler die Elementarteilchen falsch, ist erneut die erste Gruppe an der Reihe und darf erneut ein Element nennen.

Elemente fischen

Jeder Schüler notiert ein Element samt Massenzahl und Ordnungszahl auf einem Zettel. Die Zettel werden geknickt, in einem Behältnis gesammelt und gemischt. Nacheinander zieht jeder Schüler ein Zettel aus dem Behälter und nennt Elektronen-, Protonen- und Neutronenzahl.

Ein Atom aus Menschen

Für diese Methode wird ausreichend Platz benötigt! Die Schülerinnen und Schüler werden in zwei große Gruppen aufgeteilt und erhalten den Auftrag, den Atomaufbau darzustellen. Sie sollen sich also so im Raum anordnen, dass der jeweils anderen Gruppe klar wird, wie ein Atom aufgebaut ist.

Dazu dürfen sie keine weiteren Hilfsmittel benutzen. Anschließend präsentieren die Gruppen sich gegenseitig ihr Ergebnis und es kann darüber diskutiert werden: befinden sich gleich viele Protonen im Kern, wie Elektronen auf der Hülle? Wurden eventuell „leichte“ MitschülerInnen als Elektron verwendet? Befinden sich auf der ersten Schale nur zwei SchülerInnen?.....

Poster-Session

Die Schülerinnen und Schüler werden in drei Gruppen aufgeteilt. Jede Gruppe erarbeitet eine Art von Strahlung. Verwenden Sie dazu das Informationsmaterial oder Lehrbücher, die in der Schüle zur Verfügung stehen. Die Gruppen erstellen ein Poster zum ihrem speziellen Thema mit der Aufgabe, dass die Betrachter verstehen, was bei den verschiedenen Arten der Strahlung geschieht. Die Poster werden dann im Raum verteilt aufgehängt und mit Nummern versehen. Die SchülerInnen erhalten einen Bewertungsbogen und nehmen alle einzeln die aufgehängten Poster in Betracht. Dazu kann A4 verwendet werden. Die SchülerInnen verteilen Punkte und tragen die Punkte in einer Tabelle an der Tafel ein. Wenn die Betrachtung der Poster abgeschlossen ist, werden die Punkte addiert und ein Siegerposter gekürt. Anschließend werden die Poster im Plenum besprochen. Die SchülerInnen aus Gruppe A erklären Poster B usw.

Zerfallskette

Ein Schüler beginnt und nennt ein Isotop des Urans. Anschließend nennt er eine Zerfallsart. Der nächste Schüler nennt das Isotop, was durch den Zerfall entstanden ist und bestimmt die nächste Zerfallsart. Dieser Vorgang wird so lange fortgesetzt, bis jeder Schüler einmal an der Reihe war. Es ist wichtig die SchülerInnen darauf hinzuweisen, dass dies eine fiktive Zerfallsreihe ist und man überprüfen müsste, ob es sie tatsächlich gibt.

A1: Ungleiche Diskussion

Lisa: Ich kann einfach nicht glauben, dass du für Kernkraft bist! Das ist so gefährlich für die Umwelt!

Anne: Da übertreibst du aber! Kernkraftwerke sind super sicher. Es gibt verschiedene Schichten, die das radioaktive Material von der Umwelt abschirmen.

Lisa: Das glaub ich nicht, ich habe gehört, radioaktive Strahlung geht überall durch. Da kannst du noch so viele Wände aufbauen.

Anne: Wo hast du das denn her?

Lisa: Ähm….ich glaube aus der Bildzeitung!

Anne: Na toll! Da haben wir's! Das radioaktive Strahlung überall durch geht stimmt auf keinen Fall! Es gibt verschiedene Arten von Strahlung, die von unterschiedlichen Materialien aufgehalten werden können!

Lisa: Ach ja? Und woher weißt du das?

Anne: Haben wir in Chemie gemacht, als es um Atome und Atomaufbau ging!

Lisa: Chemie interessiert mich nicht.

Anne: Aber du bist trotzdem gegen Kernkraft, obwohl du nicht weißt was radioaktive Strahlung eigentlich ist?

Lisa: Na und! Dafür machst du dir keine Gedanken über die Folgen! Weißt du überhaupt, was eine Explosion im Kernkraftwerk für Auswirkungen haben kann?

Anne: Das ein Kraftwerk explodiert ist doch mehr als unwahrscheinlich! Dafür sind die Sicherheitsmaßnahmen zu hoch. Aber das wüsstest du ja, wenn du dich mit dem Aufbau eines Kraftwerks mal beschäftigt hättest.

Lisa: Da muss ich mich gar nicht mit dem Aufbau beschäftigt haben. Selbst wenn das Kraftwerk nicht explodiert Was ist mit dem ganzen radioaktiven Müll? Der wird einfach im Boden vergraben und strahlt fröhlich vor sich hin!

Anne: So ein Quatsch! Der Müll ist in 1000 Meter Tiefe in Tonschichten oder Salzlagern verstaut. Einbetoniert und in Metallkisten versiegelt. Das wird alles ständig kontrolliert und man kann eingreifen, falls irgendwas komisch ist.

Lisa: Ach egal! Kernkraft ist trotzdem schlecht!

Anne: Da können wir ja nochmal drüber diskutieren, wenn du dich besser informiert hast!

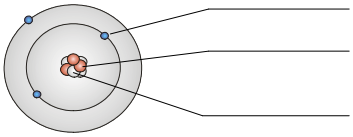
A2: Atomaufbau

1. **Warum** eigentlich?

Formuliere einen Satz, in dem du beschreibst, warum der Atomaufbau interessant für dich sein könnte! Was könntest du mit diesem Wissen anfangen?

2. **Was** eigentlich?

Die Atome bestehen aus verschiedenen Elementarteilchen. Die positiven Protonen befinden sich zusammen mit den neutralen Neutronen im Kern. Die negativen Elektronen umkreisen den Kern in bestimmten abständen. Beschrifte folgendes Bild!



3. **Woher** eigentlich?

Um heraus zu finden, wie viele Protonen, Neutronen und Elektronen ein Element besitzt, verwendet man das Periodensystem. Die Ordnungszahl gibt die Anzahl der Elektronen und Protonen an. Die Massenzahl gibt an, wie viele Elementarteilchen ein Element in seinem Kern besitzt (Nukleonen). Formuliere Regeln zur Berechnung der Elementarteilchen!

Berechnung der Anzahl der Elektronen:

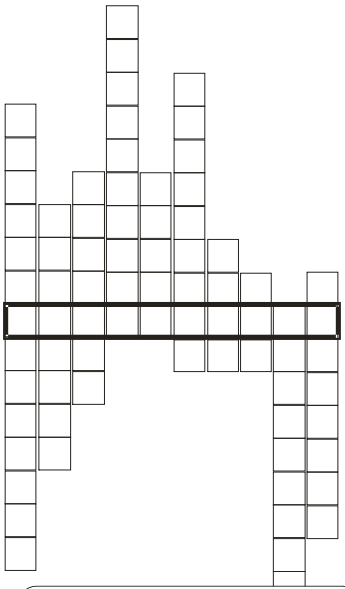
Berechnung der Anzahl der Protonen:

Berechnung der Anzahl der Neutronen:

4. Sicher?

Bespreche mit deinem Nachbar die drei W-Fragen Warum, Was und Woher! Könnt ihr alle Fragen beantworten?

A3: Rund um's Atom



1. Blei hat……Protonen.
2. Welches Elementarteilchen ist negativ geladen?
3. Haben zwei Atome die selbe Protonen- und Elektronenzahl, aber unterschiedliche Neutronenzahlen, dann handelt es sich um……?
4. Die……gibt an, wie viele Teilchen im Atomkern vorhanden sind.
5. Welches Element hat zwei Elektronen?
6. Wie nennt man alle Teilchen im Atomkern?
7. Wo im Atom befinden sich die Protonen?
8. Natrium hat…. Elektronen.
9. Wie nennt man die Zahl, die Protonen und Elektronenanzahl angibt?
10. Ein Atom hat immer gleichviele Elektronen und…….?

A4: Isotope

1. **Was** eigentlich?

Besitzen zwei Atome die selbe Anzahl Elektronen und Protonen aber eine unterschiedliche Anzahl an Neutronen, bezeichnet man die Atome als Isotope. Fülle dazu folgende Tabellen aus!

$^{238}_{92}U$

Elektronen	Protonen	Neutronen

$^{235}_{92}U$

Elektronen	Protonen	Neutronen

2. **Wie** eigentlich?

Der sichere Umgang mit Isotopen ist sehr wichtig! Bildet Zweiergruppen und schreibt gemeinsam drei Elemente mit Massen- und Ordnungszahl auf jeweils einen kleinen Zettel. Gebt dann die drei Zettel an eine benachbarte Gruppe weiter. Natürlich bekommt ihr dann auch Zettel von einer anderen Gruppe! Schaut euch die Elemente an, die ihr bekommen habt! Wie viele Protonen, Elektronen und Neutronen besitzen diese Atome? Könnten diese Elemente Isotope besitzen? Wenn ja: Wie verändert sich dann die Ordnungszahl und die Massenzahl?

3. **Warum** eigentlich?

Isotope spielen eine wichtige Rolle beim radioaktiven Zerfall. Je nachdem wie viele Neutronen ein Atom besitzt, ist es mehr oder weniger stabil und zerfällt oder bleibt so wie es ist.
Stelle dir vor, jemand fragt dich nach deiner Meinung über Atomenergie! Wie könntest du in deine Antwort einbauen, was du über Isotope weist?

A5: Bewertungsbögen

Vergebe Punkte für die Poster deiner Mitschüler! Für jede Frage, die du mit „ja" beantworten kannst, vergebe einen Punkt. Für jede Frage, die du mit „Nein" beantwortest, vergebe null Punkte! Es sind nur ganze Punkte erlaubt! Trage anschließend die Punkte in der Tabelle an der Tafel ein!

Poster 1:

	Ja	Nein
Das Poster ist gut gegliedert!		
Die Schrift auf dem Poster ist angemessen!		
Man sieht auf den ersten Blick, worum es geht!		
Man kann erkennen, welches Teilchen aus dem Atomkern austritt!		
Es wird klar, wie sich Massen- und Ordnungszahl verändert!		
Ich weiß jetzt, was α-Zerfall ist!		

Gesamtpunktzahl Poster 1:

Poster 2

	Ja	Nein
Das Poster ist gut gegliedert!		
Die Schrift auf dem Poster ist angemessen!		
Man sieht auf den ersten Blick, worum es geht!		
Man sieht, welche Teilchen das Atom verlassen und wo es herkommt!		
Es wird klar, wie sich die Massen- und Ordnungszahl verändert!		
Ich weiß jetzt, was β-Zerfall ist!		

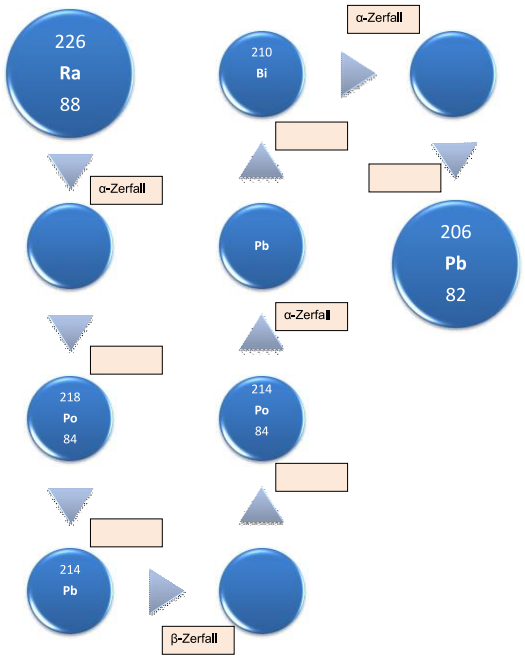
Gesamtpunktzahl Poster 1:

Poster 3

	Ja	Nein
Das Poster ist gut gegliedert!		
Die Schrift auf dem Poster ist angemessen!		
Man sieht auf den ersten Blick, worum es geht!		
Man erkennt, wie sich das Atom verändert!		
Man erfährt, wie sich Massen- und Ordnungszahl verändern!		
Ich weiß jetzt, was γ-Zerfall ist!		

Gesamtpunktzahl Poster 1:

A6: Zerfallsreihen



Fülle die Lücken aus! Diskutiere anschließend mit deinem Nachbarn welche Auswirkungen radioaktive Strahlung auf den Menschen haben könnte! Bezieht euer Wissen über die verschiedenen Arten radioaktiver Strahlung mit ein!

4.1.3.4 Teil 2: Wie ein Atomkraftwerk funktioniert

Die Kernspaltung

Das Atomkraftwerk Biblis ist ein populäres Beispiel für ein Kraftwerk in Hessen. Biblis besitzt zwei Druckwasserreaktoren mit einer Gesamtleistung von 2500 Megawatt. Biblis könnte also im Jahr 5 Millionen Haushalte mit Strom versorgen. 1 kg spaltbares Uran liefert genauso viel Energie wie 25 Millionen kg Steinkohle. Zum Vergleich: Die Atombombe von Hiroshima bestand aus 50 kg Uran.
650 Männer und Frauen sind dort angestellt, d.h. Biblis ist zuletzt auch ein Arbeitsstandort. Die Betreiber von Biblis sprechen sich ganz klar gegen eine Abschaffung der Kernenergie aus und argumentieren mit der großen Menge an Strom, die CO_2 frei gewonnen werden kann.

Bei dem oben besprochenen Zerfall von Atomkernen handelt es sich um einen spontan ablaufenden Prozess. Die Kernspaltung in einem Atomkraftwerk hingegen läuft geregelt ab. Beschießt man einen Urankern mit einem langsamen Neutron entsteht zunächst eine stabile Zwischenstufe des Urans. Diese Zwischenstufe zerfällt dann von selbst in sogenannte Urankern-Spaltstücke und einem bis drei

neuen Neutronen. Diese freiwerdenden Neutronen können erneut einen Urankern anstoßen und die Reaktion beginnt von vorne, es beginnt also eine Kettenreaktion, deren Anfang die folgende Abbildung veranschaulicht.

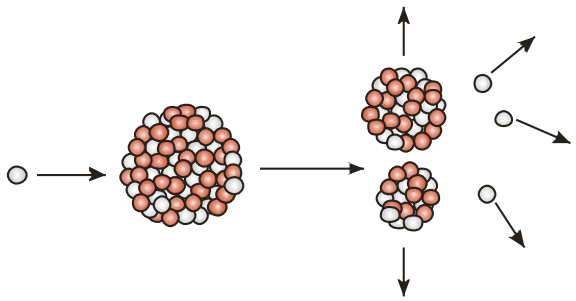


Abb. 137: Kernspaltung

Im Allgemeinen unterscheidet man ungesteuerte und gesteuerte Kettenreaktionen. Wenn zum Beispiel drei neue Neutronen bei einer Kernspaltung entstehen und mehr als eines der Neutronen zu einer erneuten Spaltung führen, spricht man von einer ungesteuerten Reaktion, die lawinenartig verlaufen kann. Bei einer gesteuerten Kettenreaktion führt genau ein erzeugtes Neutron zu einer neuen Kernspaltung.

Es lässt sich jedoch nicht jedes Uranisotop mit langsamen Neutronen spalten, sondern nur die Isotope ^{233}U und ^{235}U. ^{235}U kommt jedoch nur zu 0,71 % in natürlichem Uran vor.

Das häufigste Nuklid ist ^{238}U, das jedoch nicht spaltbar ist. Um genügend spaltbares Uran zu erhalten, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Natürliches ^{238}U mit ^{235}U anreichern. Dies geschieht mit Hilfe eines technischen Prozesses in dem die Uranatome nach ihrer Masse getrennt werden (Gaszentrifuge).
- ^{233}U aus ^{232}Th herstellen. Diese Reaktion verläuft nach folgender Kette:

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{+n} {}^{233}_{90}Th \xrightarrow{\beta\text{-Zerfall}} {}^{233}_{91}Pa \xrightarrow{\beta\text{-Zerfall}} {}^{233}_{92}U$$

Abb. 138: Zerfallsreihe

Außerdem entsteht bei der Reaktion zwischen natürlichem ^{238}U und den freien Neutronen ^{239}Pu, also Plutonium, das ebenfalls durch langsame Neutronen gespalten werden kann. Diesen Vorgang nennt man Konversion. Die Reaktion verläuft entsprechend der folgenden Zerfallsreihe und findet in jedem Reaktor statt, in dem natürliches oder mit ^{235}U angereichertes Material verwendet wird.

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{+n} {}^{239}_{92}U \xrightarrow{\beta\text{-Zerfall}} {}^{239}_{93}Np \xrightarrow{\beta\text{-Zerfall}} {}^{239}_{94}Pu$$

Abb. 139: Zerfallsreihe

Abgesehen von dem Problem des Uranvorkommens müssen noch langsame Neutronen generiert werden. Dies geschieht mit Hilfe von Graphitstäben, an denen die Neutronen durch elastische Stöße verlangsamt werden (Brennsubstanz). So entstehen genug langsame Neutronen, die bevorzugt mit ^{233}U oder ^{235}U reagieren.

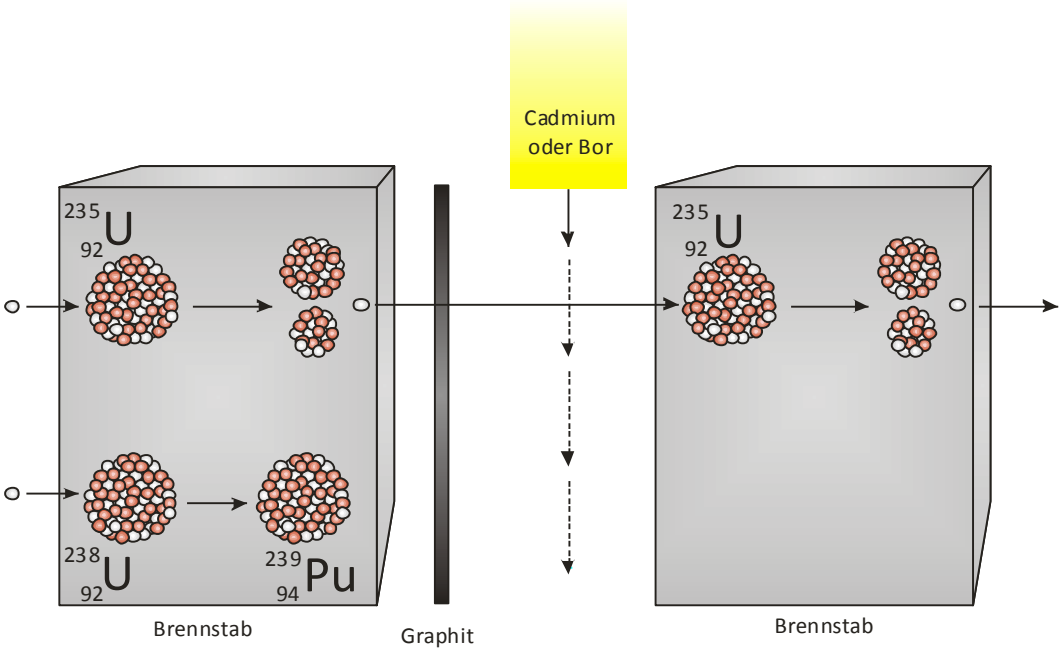


Abb. 140: Vorgänge im Reaktorraum

Um die Kernspaltung zu regulieren, werden Stäbe aus Cadmium oder Bor verwendet, die in der Lage sind die Neutronen abzufangen. Es ist auch möglich diese Stäbe nur zum Abschalten des Kraftwerks zu verwenden und die Regulierung über die Veränderung der Bohrsäurekonzentration zwischen den Brennstäben vorzunehmen. Abbildung 140 bietet einen kurzen Überblick über die Vorgänge im Kernreaktor. Je nachdem ob ein Neutron auf ^{235}U oder ^{238}U trifft, wird die Kette fortgesetzt oder nicht.

Atomkraftwerke in Deutschland[d]

All diese eben besprochenen Vorgänge findet im Reaktordruckbehälter statt. Jeder Block in Biblis besitzt 193 Brennelemente mit insgesamt 45000 Brennstäben. Die Gesamtmenge an Urandioxid (Eine Verbindung aus Uran und Sauerstoff) in einem Block beläuft sich so auf 100 Tonnen. Das ist also eine ganze Menge Uran, das gespalten werden kann. Aber wie wird die elektrische Energie aus dem Reaktor generiert? Abbildung 141 zeigt schematisch die Abläufe vom Atomkraftwerk zu unserem Haushalt. Die Kernspaltungen laufen ganz links im Reaktordruckbehälter ab. Es entsteht eine Menge freie Energie, weil durch die Spaltung pro Nukleon etwa 0,8 MeV Bindungsenergie frei wird (1 Elektronenvolt = 1,6022 $\bullet 10^{-19}$ J). Diese frei werdende Energie erhitzt das Wasser zwischen den Brennstäben (Primärkreislauf). Obwohl die Temperatur des Wassers 300°C beträgt, verdampft es

[d] **Biblis wurde in der Zwischenzeit vom Netz genommen.**

nicht, weil die Anlage unter einem Druck von 155 bar steht.

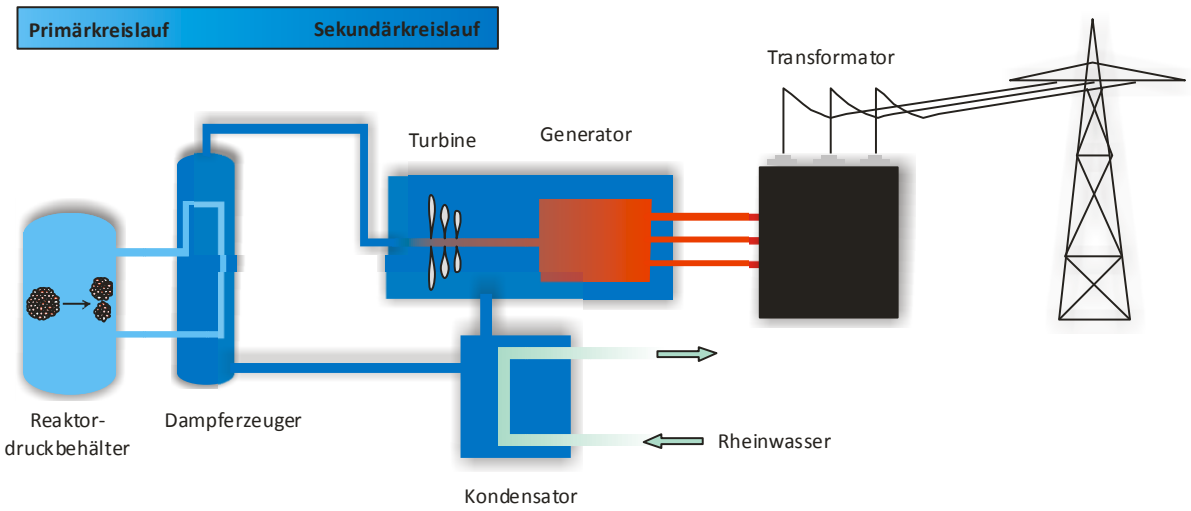


Abb. 141: Überblick über das Kraftwerk

Der Dampferzeuger dient als Verbindungsstelle zwischen primär und sekundär Kreislauf. Die Wärme wird hier auf den Sekundärkreislauf übertragen, in dem nur 55 bar herrschen. Hier verdampft also Wasser, dessen Dampf wiederum die Turbinen antreibt. Die Turbinen sind mit dem Generator verbunden, der wiederum Strom erzeugt. Ein Generator wandelt mechanische Leistung in elektrische Leistung um. Zu Grund liegt die Bewegung einer elektrischen Ladung in einem Magnetfeld.
Im Kondensator kondensiert der Wasserdampf und wird wieder in den Dampferzeuger geleitet. Natürlich muss der Kondensator gekühlt werden. Dies geschieht mit Wasser aus dem Rhein, dass direkt wieder in den Fluss eingespeist wird.

Schutzeinrichtungen

Biblis bietet eine Menge Sicherheitseinrichtungen, sowohl für ihre Mitarbeiter, als auch für ihre Umwelt. Das zentrale Ziel der Einrichtungen ist natürlich die Zurückhaltung radioaktiver Stoffe. Im Folgenden werden einige davon besprochen.

Die Rückhalte-Barrieren setzen sich aus verschiedenen baulichen Maßnahmen zusammen, die es verhindern sollen, dass Radioaktivität nach außen durchdringt. Abbildung 142 verdeutlicht den Aufbau.

- Die Brennstofftabletten sind mit einem Kristallgitter umgeben. Es hält den größten Teil des radioaktiven Materials zurück.
- Außerdem sind die Brennstofftabletten mit einer Metallhülle verschlossen

- Der Reaktordruckbehälter besitzt einen eigenen Kühlkreis, so kommt auch kein Kühlwasser aus dem Reaktor in die Umwelt.
- Der Reaktor ist mit Beton ummantelt. Das dient als biologisches Schild.
- Danach folgt ein Sicherheitsbehälter aus Zentimeterdickem Stahl.
- Das Reaktorgebäude selbst wurde zudem aus Stahlbeton errichtet.

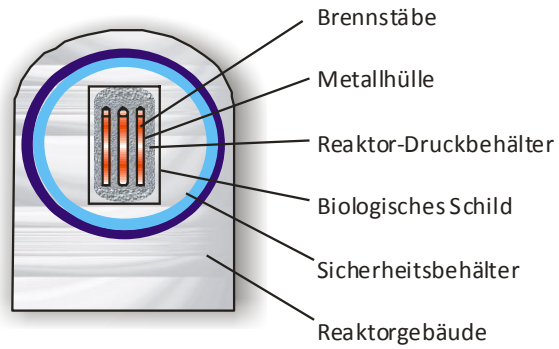


Abb. 142: Rückhaltebarriere

Wenn ein Kernkraftwerk errichtet wird, muss immer vom schlimmst möglichen Fall ausgegangen werden. Es gibt vier Auslegungsprinzipien, die dazu eingehalten werden müssen:

- Redundanz: sicherheitstechnische Eirichtungen sind immer mehrfach vorhanden
- Diverität: mehrere Systeme führen die selbe sicherheitstechnische Aufgabe auf unterschiedliche Art und Weise aus
- Räumliche Trennung: redundante und diversitäre Einrichtungen werden getrennt gehalten, damit ausgeschlossen werden kann, dass mehrere Systeme gleichzeitig ausfallen.
- Fail-Safe-Prinzip: die Funktionen der Sicherheitseinrichtungen bleiben bei Stromausfall erhalten und damit wirksam.

Das Reaktorschutzsystem kontrolliert alle wichtigen Messwerte. Gleichzeitig werden sie mit dem Soll-Zustand verglichen, unnormale Betriebszustände werden erkannt und korrigiert. Das System kann außerdem folgende Sicherheitsmaßnahmen selbstständig auslösen, wenn ein zuvor festgelegter Wert erreicht wird:

- Reaktorschnellabschaltung: Die Stromzufuhr zu den Antrieben der Steuerungsstäbe wird unterbrochen und die Stäbe fallen durch ihr Eigengewicht zwischen die Brennelemente.
- Verschließung von Gebäudeteilen: Unterschiedliche Gebäudeteile können dicht verschlossen werden und radioaktives Material kann so nicht austreten.
- Nachwärme-Abfuhrsystem: Die Wärme, die nach dem Abschalten noch entsteht, wird abgeführt und die fehlende Kühlleistung ersetzt.
- Notstromversorgung: alle sicherheits-technisch relevanten Systeme können über eine Notstromversorgung versorgt werden.

Atomkraft Ja oder Nein

Nach allem Gesagten muss nun gesellschaftlich und ethisch danach gefragt werden, welche Risiken ein laufendes Atomkraftwerk mit sich bringt. Im Folgenden sollen einige Fakten dazu erläutert werden. Die entsprechende Interpretation möchten wir Ihnen als Lehrerinnen und Lehrer und den Schülerinnen und Schülern selbst überlassen.

Fakt 1: Um spaltbares Uran zu gewinnen bedarf es einem aufwendigen technischen Prozess. Mit ^{235}U angereichertes ^{238}U muss mindestens zu 3 % ^{235}U enthalten um im Kernkraftwerk genutzt werden zu können. Bei dem Darstellungsprozess fällt eine ganze Menge Material an, das ebenfalls radioaktiv ist und zerfallen kann.

Fakt 2: Es gibt keine ungefährliche Menge an radioaktiver Strahlung. Egal wie lang die Halbwertszeit eines radioaktiven Strahlers auch ist oder im welchen Maße er unter welcher Zerfallsreihe strahlt: alle radioaktiven Strahlen sind gefährlich. Paracelsus formulierte die These der Hormesis: „All Ding' sind Gift und nichts ohn' Gift, allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist." Unter Hormesis versteht man in diesem Fall, dass eine geringe Dosis eines Gifts positive Wirkungen hat. Bei radioaktiver Strahlung wird dieser Sachverhalt äußerst kontrovers diskutiert. Allgemein kann man davon ausgehen, dass radioaktive Strahlung keine positiven Wirkungen hat, sondern im besten Fall in einer äußerst geringen Dosis keine negativen.

Fakt 3: Beim Schürfen von Uranerz entstehen Abraumhalden, die bereits Strahlungsquellen sind.

Fakt 4: Bei der Anreicherung von Uran entstehen neben dem nicht zu gebrauchenden ^{238}U weitere Abfallprodukte, wie zum Beispiel radioaktiv verseuchtes Wasser.

Fakt 5: 1/3 der durch Kernspaltungen erzeugten Wärme wird in elektrische Energie umgewandelt. Der Rest geht als Wärme an die Umgebung verloren. Dies kann Einflüsse auf die Umwelt haben.

Fakt 6: Nicht alle Störfälle sind GAUs (größte anzunehmende Unfälle). Die Störfälle werden in klein, mittel oder schwere Störfälle eingeteilt. Es treten häufig Störfälle auf, die nicht zu direkten Todesfällen führen und damit auch nicht besonders medienwirksam sind.

Fakt 7: Im Vergleich zu den direkten Toten sterben erheblich mehr Menschen an den Spätfolgen von Radioaktivität.

Fakt 8: Es wird durch Radioaktivität genetisch verändertes Erbgut weiter-gegeben, ohne, dass die Betroffenen es direkt merken.

Fakt 9: Auch wenn ein Störfall eines Atomkraftwerks Jahre zurück liegt, kann es sein, dass dadurch landwirtschaftliche Fläche kontaminiert wurde, auf dem jetzt zum Beispiel Kühe grasen. Je nach Halbwertszeit kann die Milch dieser Kühe auch noch nach Jahrzehnten davon betroffen sein.

Fakt 10: Die Rede vom „Restrisiko" ist irreführend. Das Restrisiko wird aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schadenshöhe berechnet. Da die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen GAU sehr gering ist, wird das Restrisiko auch sehr klein. Aber tatsächlich tragen die Menschen bei einem GAU nicht nur ein Restrisiko, sondern das gesamte Risiko mit all seinen Konsequenzen.

Fakt 11: Plutonium und Uran oxidieren an der Luft durch Selbstentzündung. Das Oxid kann sich in der Atmosphäre als Aerosol verbreiten und von dort in die Nahrung und die Atmung gelangen.

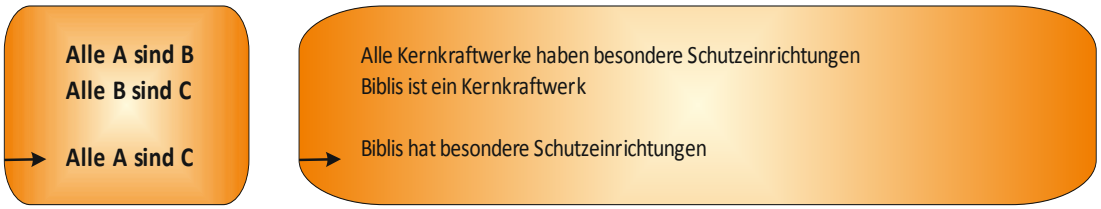
<u>Logisches und ethisches Argumentieren</u>

Logisches Argumentieren ist die Voraussetzung für eine gelungene Diskussion. Die meisten Menschen sind mit logischen Schlussfolgerungen einverstanden, unlogische Folgerungen hingegen werden von der Mehrheit der Menschen abgelehnt. Allgemein nennt man die Lehre vom formal richtigen Schließen Logik. Das heißt gelichzeitig, dass zwischen logischen Schlüssen und wahren Schlüssen unterschieden werden muss. Zu einem Schluss kommt man immer durch sogenannte „Wenn-Dann-Beziehungen". Wenn also A angenommen wird, dann muss daraus also B folgen. Das angenommene A muss dabei nicht zwangsläufig der Wahrheit entsprechen.
Grundsätzlich kann man vier verschiedene Szenarien unterscheiden:

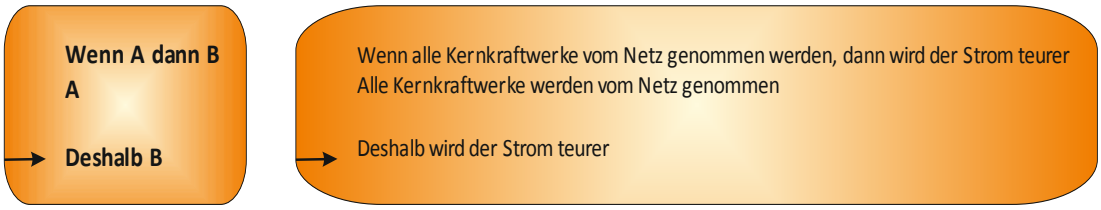
1. *Wahre Voraussetzung + formal korrekte Schlussfolgerung*
   Das Ergebnis ist formal korrekt und inhaltlich wahr
2. *Zweifelhafte oder falsche Voraussetzung + formal korrekte Schlussfolgerung*
   Das Ergebnis ist formal korrekt aber inhaltlich unwahr
3. *Wahre Voraussetzungen + formal nicht korrekte Schlussfolgerung*
   Das Ergebnis ist formal falsch und inhaltlich zweifelhaft oder unwahr
4. *Falsche Voraussetzung + formal nicht korrekte Schlussfolgerung*
   Das Ergebnis ist formal falsch und inhaltlich unwahr

Um logisch korrekte Schlussfolgerungen zu zeihen, müssen die Regeln der formalen Logik eingehalten werden. Man kann dabei allgemein folgende Syllogismen unterscheiden:

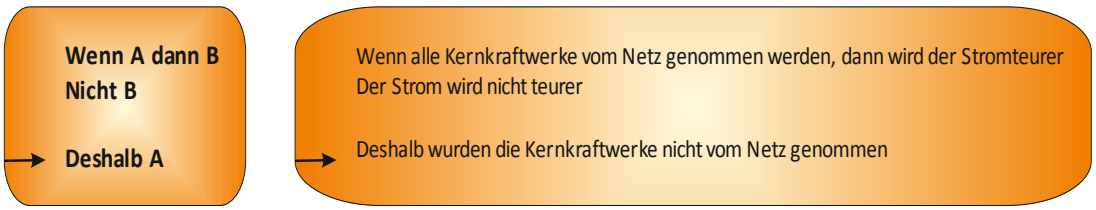
Modus Barbera:



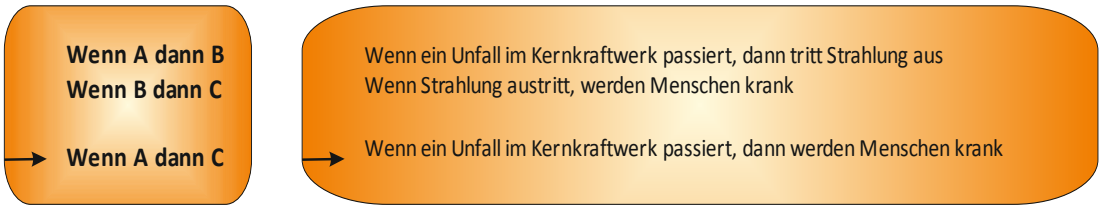
Modus Ponus:



Modus Tollens:



Hypothetischer Syllogismus:



Disjunktiver Syllogismus:

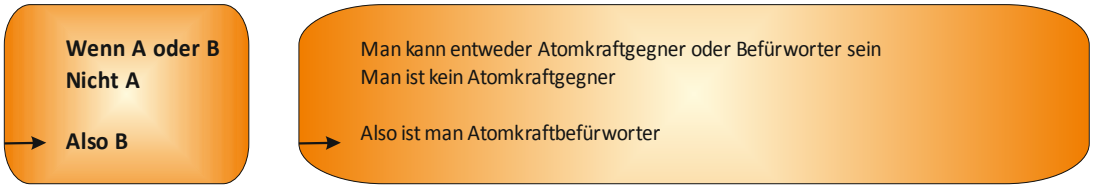


Abb. 143: Logisches Argumentieren

Diese formale Struktur wird in den sogenannten praktischen Syllogismen wiedergefunden. Diese Art der Syllogismen bestehen aus:

- Einem normativen Obersatz (Prämisse)
- Deskriptiver Untersatz
- Einer normativen Konklusion

Die normative Prämisse gibt ein gewünschtes soll Verhalten an. Beispiele wären: Du sollst die Umwelt schützen! Oder: Man sollte mehr Geld in alternative Energie stecken.
Der deskriptive Untersatz gleicht einer reinen Beschreibung in Bezug auf einen Bestandteil der normativen Prämisse:

- Man sollte Kernkraftwerke schließen
- Biblis ist ein Kernkraftwerk
- Biblis soll geschlossen werden

Wie man sieht, kann die Prämisse weder wahr noch falsch sein. Sie entspricht einer ethischen Aussage. Dementsprechend hat auch die Konklusion keine allgemeine Richtigkeit. Eine ethische Argumentation wird allerdings durch ihre Rekostruierbarkeit überprüft. Lässt sich also für eine Konklusion eine Prämisse und ein deskriptiver Untersatz finden, kann die Aussage in Bezug auf die Prämisse Richtigkeit beanspruchen.
Eine weitere Figur logischen und ethischen Argumentierens ist die Zweck-Mittel Relation. Dabei wird zunächst der Zweck in den Blick genommen und mögliche Mittel erwogen, die notwendig sind, um diesen Zweck zu erreichen. Dabei wird folgendes Schema verfolgt:

- Eine Person beabsichtigt, A zu tun
- Die Person glaubt, dass sie A tun kann, wenn sie B tut
- Die Person tut B

Ein passendes Beispiel wäre:

- Eine Person will Atomkraftwerke abschaffen
- Die Person glaubt, dass Atomkraftwerke abgeschafft werden, wenn sie demonstriert
- Die Person demonstriert

All diese Figuren des logischen und ethischen Argumentierens sind natürlich Methoden, die zum Zweck der Diskussion angewendet werden können. Die Logik bestimmter Aussagen und die Gültigkeit von ethischen Forderungen können so überprüft werden. Auch und gerade für Themen wie Energie und Kernkraft lassen sich diese Methoden, die in der Ethik und der Philosophie ihre Wurzeln haben, auch in Hinsicht auf naturwissenschaftliche Gebiete anwenden.

Ein ethischer Fragekreis

Ein ethischer Fragekreis kann erklären, wie ein Mensch zu seinen Prinzipien, Einstellungen und Grundwerten gelangt. Im Grunde fragt sich jedes Individuum zu jedem Moment: Was soll ich tun? Wie will ich handeln? Wer will ich sein? So entwickelt man Meinungen zu einem bestimmten Thema, die auch zur Grundeinstellung werden können. Werte werden auf die gleiche Art und Weise generiert. Ein Fragekreis kann für jeden Menschen anders aussehen. Die nächste Abbildung zeigt ein Beispiel:

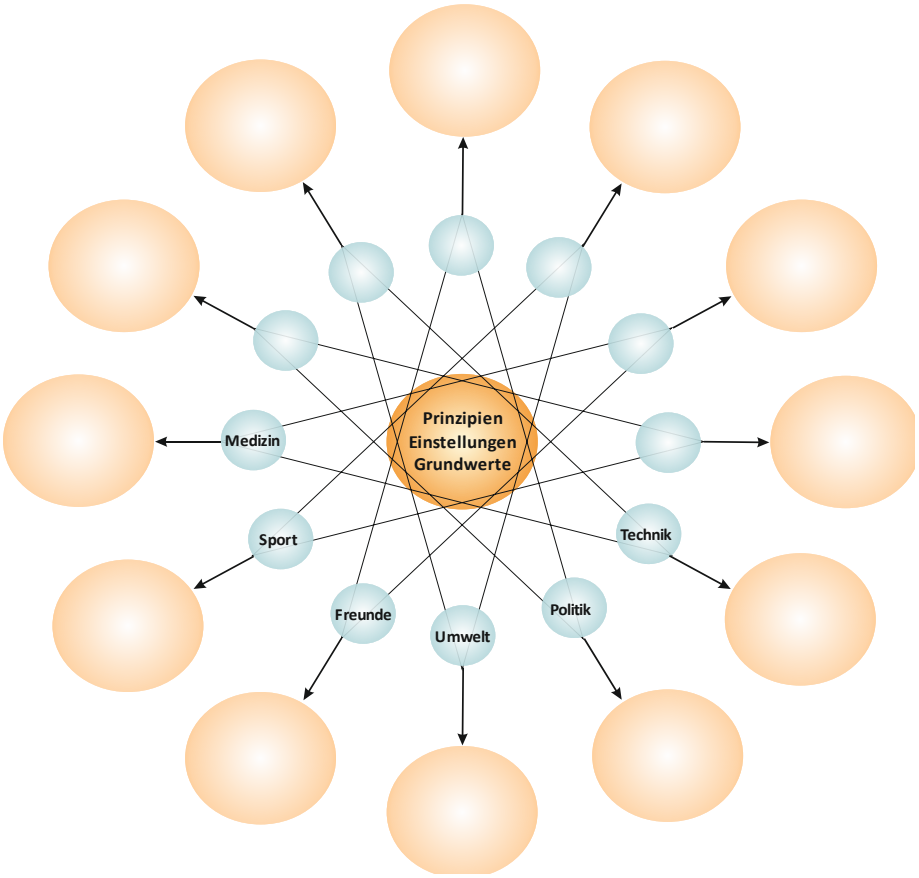


Abb. 144: ethischer Fragekreis

Die blauen Felder beschreiben die verschiedenen Bereich, die auf einen Menschen einwirken können. Durch den ständigen eigenreflektorischen Prozess werden so Handlungsmuster und Denkstrukturen ausgebildet. So präzisieren sich Prinzipien, Einstellungen und Grundwerte in den äußeren Kreisen können konkrete Handlungen eingetragen werden.

4.1.3.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Wie ein Atomkraftwerk funktioniert“

Arbeitsaufträge

Recherche

Die SchülerInnen informieren sich im Internet über Uran und Plutonium. Anschließend wird diskutiert, welches Element sie als weniger gefährlich einstufen.

Spaltung vs. Zerfall

Die SchülerInnen werden in zwei große Gruppen aufgeteilt. Die eine Gruppe wiederholt die Vorgänge der radioaktiven Strahlung. Die andere Gruppe erhält eine kurze Information zum Thema Kernspaltung. Hierzu kann I4 verwendet werden. Schließlich werden Zweiergruppen gebildet, die immer aus einem Spezialisten für radioaktiven Zerfall und einem für Kernspaltung bestehen. Es wird diskutiert, wie sich die beiden Reaktionen unterscheiden.

Rekonstruktion

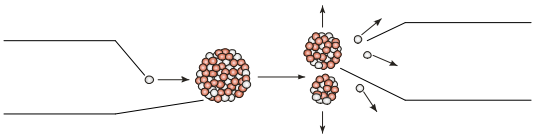
Um den groben Aufbau des Atomkraftwerks Biblis zu verstehen, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder, man gibt den SchülerInnen eine fertige Skizze (dazu eignet sich A8) oder man lässt sie selbst eine Skizze entwerfen. Für Letzteres eignet sich I5. Dort wird im Text beschrieben, wie das Atomkraftwerk aufgebaut ist. Die SchülerInnen werden in Gruppen aufgeteilt, lesen den Text und fertigen dann eine Skizze auf einem Plakat an. Schließlich werden im Plenum die einzelnen Entwürfe vorgestellt und miteinander verglichen.

Sicherheit

Die Begriffe Redundanz, Diverität, räumliche Trennung und Fail-Safe-Prinzip werden an der Tafel erläutert und anschließend zur Diskussion freigegeben. Folgende Fragen könnten dabei hilfreich sein:

A7: Kernspaltung

Der radioaktive Zerfall ist eine spontane Reaktion. Bei der Kernspaltung handelt es sich allerdings um einen provozierten Vorgang. Im Kernkraftwerk werden Urankerne mit langsamen Neutronen beschossen. Dabei entstehen zwei Spaltprodukte und in der Regel zwischen einem und drei weitere freie Neutronen. Beschrifte hierzu die folgende Abbildung!



Das Uranisotop mit der Massenzahl 235 lässt sich mit langsamen Neutronen spalten. Allerdings ist es nur zu 0,7 % in natürlichem Uran enthalten. Darum wird natürliches Uran oft mit spaltbarem Uran angereichert. Man kann aber auch das spaltbare 233-U und das 239-Pu künstlich herstellen. Das funktioniert nach folgenden Zerfallsreihen. Fülle die Lücken aus!

$^{232}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{+n} {}^{233}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{\square}_{91}\mathrm{Pa} \xrightarrow{\beta\text{-Zerfall}} {}^{\square}_{\square}\mathrm{U}$

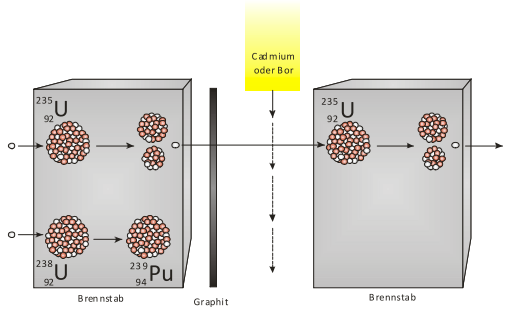
$^{238}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{+n} {}^{239}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\beta\text{-Zerfall}} {}^{\square}_{\square}\mathrm{Np} \longrightarrow {}^{239}_{\square}\mathrm{Pu}$

Diskutiere mit deinem Partner, folgende Punkte:

1. Spaltbares Uran ist nur sehr begrenzt vorhanden und muss aufwendig aufgearbeitet werden. Was bedeutet das für die Zukunft der Kernkraft!
2. Bei jedem Spaltungsprozess entstehen andere Spaltprodukte. Was bedeutet das für den dabei entstehenden Atommüll?

A8: Abläufe im Reaktorraum

Die folgende Abbildung zeigt die Abläufe im Reaktorraum. Diskutiert in Gruppen darüber, was in der Abbildung zu sehen ist. Beantwortet anschließend die unten stehenden Fragen.



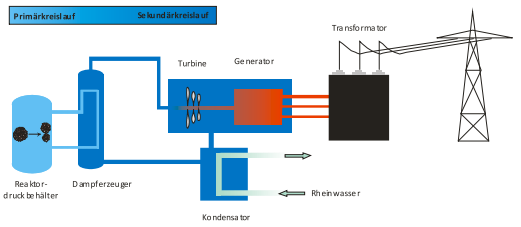
Von welchen beiden Ausgangsmaterialien wird in der Abbildung ausgegangen und warum?

Wie entsteht im Reaktor Plutonium? Was muss passieren, damit die Kettenreaktion weiter läuft?

Welche Funktion könnte der Graphitstab bzw. der Cadmium- oder Borstab haben?

A9: Das Kernkraftwerk Biblis

Die folgende Abbildung zeigt ein Schema des Kernkraftwerks in Biblis. Im Reaktordruckbehälter findet die Kernspaltung statt, was so viel Wärme erzeugt, dass das Wasser auf 300°C erhitzt wird. Trotzdem verdampft es nicht, sondern bleibt flüssig, weil ein Druck von 155 bar herrscht. Das Wasser wird durch Rohre geleitet, welche wiederum Wasser im sekundären Kreislauf erhitzt. Nachdem dieses Wasser verdampft ist, treibt es eine Turbine an, durch deren Bewegung über einen Generator elektrischer Strom erzeugt wird. Über einen Transformator gelang der Strom dann ins Netz. Der Wasserdampf wird von einem Kondensator abgekühlt bis er kondensiert und kalt zurück in den sekundären Kreislauf fließt. Der Kondensator wird mit Wasser aus dem Rhein gekühlt.



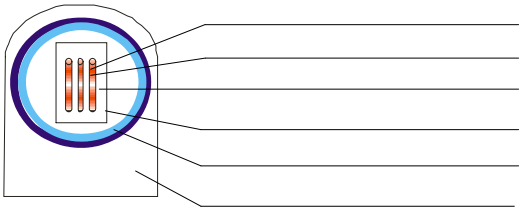
Gebe in eigenen Worten wieder, wie aus einer Kernspaltung elektrischer Strom entsteht!

Diskutiert folgende Fragen:

1. Warum wird das Wasser aus dem primären Kreislauf nicht direkt verdampft und zum Betreiben der Turbine verwendet?
2. Wie verändert sich die Temperatur des Rheinwassers, wenn damit der Wasserdampf im Sekundärkreislauf gekühlt wird? Welche Auswirkung könnte das auf den Rhein haben, wenn das Wasser direkt zurück geleitet wird?
3. An welcher Stelle siehst du das größte Sicherheitsrisiko?

A10: Sicherheit im Kernkraftwerk

Im Kernkraftwerk Biblis ist der Reaktorraum mehrfach gesichert. Die Brennstäbe haben eine Metallhülle und befinden sich im Reaktordruckbehälter, der wiederum mit einem biologischen Schild gesichert ist. Alles zusammen befindet sich in einem Sicherheitsbehälter, der schließlich meterdick im Reaktorgebäude einbetoniert ist. Beschrifte die folgende Abbildungen mit Hilfe dieser Angaben!



Im Kernkraftwerk kann es zu ungewollten Zwischenfällen kommen. Überlegt euch in Zweiergruppen, welche Maßnahmen ihr ergreifen würdet, um für diese Zwischenfälle vorbereitet zu sein! Macht euch Notizen!

1. Stromausfall
2. Das Sicherheitssystem fällt aus
3. Die einzige Möglichkeit um die Kernspaltung zu unterbrechen funktioniert nicht mehr
4. Obwohl das Kraftwerk abgeschaltet ist, entsteht immer noch Restwärme
5. Ein bestimmter Gebäudeteil ist mit radioaktiven material kontaminiert

4.1.3.6 Teil 3: Radioaktiver Müll

Wo kommt der Abfall her?

Wo kommt das Uran eigentlich her? Uran ist in vielen Erzen enthalten und wird in Bergwerken abgebaut. Dort liegt Uran nicht elementar als Metall vor, sondern in Verbindungen wie UO_3. Das Uran wird also geschürft, wobei sogenannte Abraumhalden entstehen. Sie sind selbst schon Strahlquellen.

Wie oben besprochen, muss das natürliche ^{238}U mit mindestens 3% ^{235}U angereichert werden. Dies geschieht durch einen technischen Prozess, bei dem ^{238}U anfällt, dass nicht verwendet wird. Außerdem wird das spaltbare Material aufgearbeitet, dabei entstehen weitere Nebenprodukte, wie radioaktiv kontaminiertes Wasser.

Außerdem besteht der Reaktor selbst nach seiner Benutzung zu einem großen Teil aus Sondermüll. Das Wasser aus dem Primärkreislauf oder diverse Filter müssen ebenso gründlich entsorgt werden, wie die Brennelemente selbst.

Wie bereits erklärt, wird ^{235}U in zwei Urankern-Spaltstücke gespalten. Diese Spaltprodukte haben eine Nukleonenzahl zwischen 95 und 140. Eine mögliche Reaktion wäre:

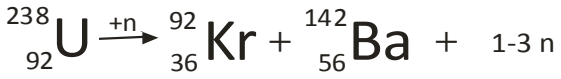


Abb. 145: Zerfallsreihe

Außerdem entsteht bei der Spaltung von natürlich angereichertem Uran Plutonium. Der Atommüll hat also mehrere Bestanteile: Verbliebenes Uran, Plutonium und ein Gemisch der verschiedensten Elemente mit Nukleonenzahlen zwischen 95 und 140. Die tückischste Substanz im Atommüll ist allerdings das ^{239}Pl. Atmet man es als Staub ein, sind schon wenige Mikrogramm tödlich. Der α-Strahler hat zudem eine Halbwertszeit von 24400 Jahren. Nach zehn Halbwertszeiten (1/4 Millionen Jahre) ist seine radioaktive Strahlung bis auf ein vertretbares Maß von 0,1 Prozent abgeklungen.
Eine interessante Nuance verleiht der Gedanke, dass es gerade Plutonium ist, welches militärisch für Atomwaffen eingesetzt wird. Die Menge an Plutoniummüll, der aus Kernkraftwerken stammt, ist inzwischen größer, als die militärischen Bestände. Bisher haben die zivilen Kernreaktoren sechsmal so viel radioaktives Plutonium generiert, wie es zur Zeit des kalten Krieges den Supermächten zur Verfügung stand. Zu dieser Zeit hätten diese Nationen mit 260 Tonnen Plutonium 85000 nukleare Sprengsätze bauen können.

<u>Wohin mit dem Atommüll</u>

Der Atommüll kann natürlich nicht so einfach entsorgt werden. In aller Regel landet er in einem Endlager. Eines der bekanntesten Endlager ist „Gorleben“. In einem Salzstock werden dort hoch radioaktive Substanzen gelagert. Dort können sie zurückgeholt und gewartet werden. Der alternative Vorschlag, den Müll mit einer Rakete in Richtung Sonne zu schicken, scheiterte an der Vorstellung, die Rakete könne beim Start explodieren und das radioaktive Material schon gleichmäßig in der Atmosphäre verteilen. Schließlich wurde empfohlen, das radioaktive Material in Tonschichten oder auch im Salz zu versenken. Abbildung 146 zeigt eine schematische Darstellung des Endlagers in Gorleben. In einer Tiefe von 1000 Metern werden die einbetonierten radioaktiven Reste gelagert. Das Salz verhindert, dass radioaktives Material ins Grundwasser gelangt, es schirmt das Wasser ab.

Allerdings birgt auch Gorleben Schwachstellen:

- *Gorlebener Rinne*

Über dem Salzstock liegt eine Tondecke. Diese ist jedoch durch eine Sand- und Kiesformation unterbrochen, die aus der Eiszeit stammt.

- *Aggressive Lauge*

Im Salzstock gibt es so genannte Laugentauschen, die Reste von Meersalzlösung enthalten. Diese aggressive Lauge könnte die Atombehälter korrodieren.

- *Rissbildung*

Das Gestein ist an manchen Stellen zerklüftet. Die Frage ist, ob durch diese Risse doch Grundwasser ins Endlager gelangen könnte.

- *Gasbildung*

Die Metallbehälter können korrodieren, die organischen Anteile im Atommüll verrotten. Dadurch entsteht Gas und mit dem Gas Druck, der die Behälter schädigen könnte.

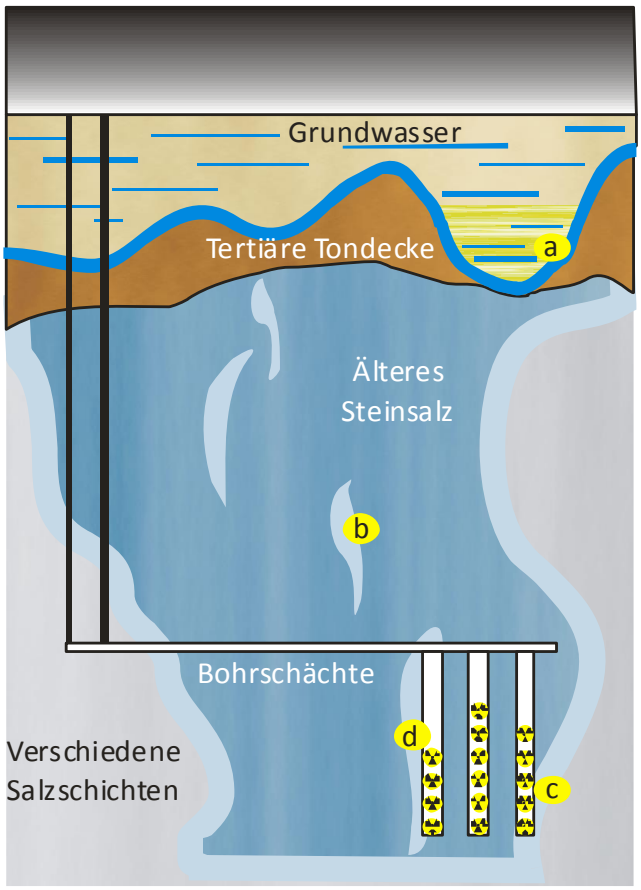


Abb. 146: Endlager Gorleben[192]

Ein Fazit

An dieser Stelle könnte man ein Fazit ziehen und sich entweder für oder gegen Atomkraft aussprechen. Allerdings soll das den Schülerinnen und Schülern selbst überlassen werden. Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte festhalten:

Pro:

- Der Energiebedarf der dritten Welt wird gedeckt.
- Die Industrieländer werden immer weniger abhängig vom Öl.

- Kernenergie wirkt der Verknappung fossiler Brennstoffe entgegen.
- Elektrische Energie wird von den Kernkraftwerken für den Einsatz von alternativen Energiespar- und Gewinnungstechniken gebraucht.
- Die Kosten für Brennstäbe sind billiger als die für fossile Brennstoffe.
- In der Zukunft werden fossile Brennstoffe im Vergleich noch teurer.
- Die Kernkraftwerke sind Standortunabhängig, weil nur vergleichsweise geringe Mengen an Brennstoffen transportiert werden müssen.
- Bei der Kernspaltung wird kein Sauerstoff verbraucht.
- Es werden keine Treibhausgase emittiert.
- Die Probleme, die durch die Aufwärmung der Umgebung auftreten, treten auch bei anderen Kraftwerken auf.
- Auswirkungen auf die meteorologischen Verhältnisse und auf die Vegetation sind auf die Umgebung des Kühlturms beschränkt.
- Die Strahlenbelastung, die durch Abwasser und Abluft emittiert wird, ist im Vergleich zu der natürlichen Strahlendosis klein.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass Risiken für Leben und Gesundheit entstehen ist geringer, als die Risiken ausgehend von anderen zivilisatorischen oder natürlichen Möglichkeiten.

Kontra:

- Die Menschen fühlen sich bedroht.
- Es sind nicht nur Betriebskosten notwendig, sondern auch Steuermittel, die zu Forschungszwecken eingesetzt werden. Diese wären besser in alternative Energien investiert.
- Die Lagerung des Atommülls wird immer Kosten aufwerfen, die mit der Zeit steigen werden.
- Kernkraftwerke geben Wärme ab und beeinträchtigen so die Flüsse.
- Die folgenden Generationen erben tonnenweise Plutonium von uns.
- Die Endlager sind keine zufrieden-stellende Lösung.
- Es gibt keine Menge an ungefährlicher Strahlung.
- Eine dauerhafte Bestrahlung in einer kleinen Dosis ist ebenfalls sehr gefährlich.
- Ein GAU oder andere Störfälle sind nicht auszuschließen und bergen katastrophale Folgen.
- Das radioaktive Material muss zum Endlager transportiert werden und wird so zu einer großen Gefährdung.
- Selbst wenn die Atomkraftwerke sicher sind, können sie doch durch einen Anschlag zerstört werden.

Das Gewissen

Umgangssprachlich begegnet uns das Gewissen in Wendungen wie: „Ein schlechtes Gewissen haben“ oder in „Frage dein Gewissen“. Sofort taucht das Bild vom Engelchen und Teufelchen vor unserem inneren Auge auf. Das Gewissen wird oft als der Teil des Menschen verstanden, der ihn zu guten Handlungen antreibt. In sehr vereinfachter Form lässt sich sogar das Freud’sche Über-Ich als Gewissen ausdrücken. Freud postuliert, dass sich das wirkliche Ich eines Menschen aus der Wechselwirkung zwischen dem Es, also dem triebgesteuertem Wollen und Wünschen, und dem Über-Ich zusammensetzt. Als Über-Ich wird dabei vereinfacht das Gewissen verstanden, dass den Trieben Einhalt gebietet. Dieses Über-Ich entsteht aus seinem Umfeld heraus.

Das wirklich komplizierte am Begriff des Gewissens ist allerdings, dass es immer in einer bestimmten Funktion auftritt. Was das Gewissen wirklich *ist* lässt sich also schwer sagen. Es ist einfacher zu formulieren was das Gewissen *tut*.

Auf der anderen Seite können Personen für sich selbst in Anspruch nehmen, wie ihr Gewissen funktioniert. Sie kennen ihr Gewissen und können sich in einer rein erdachten Situation vorstellen, wie sie handeln würden, weil ihr Gewissen eine bestimmte Beschaffenheit aufweist.

In der Regel macht sich das Gewissen dann bemerkbar, wenn eine Handlung oder eine Meinungsbildung direkt bevorsteht. Wir senden den Gedanken „Was soll ich tun?“, das Gewissen antwortet. Die Anweisung des Gewissens kann also als moralisches Urteil verstanden werden. Wir handeln nicht ohne Grund nach unserem Gewissen. Es verkörpert alle Werte an die wir glauben und alle Prinzipien die wir haben. Es sorgt dafür, dass wir unseren Prinzipien, Einstellungen und Grundwerten treu bleiben.

4.1.3.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Radioaktiver Müll“

Arbeitsaufträge

Wohin mit dem Atommüll?

Die SchülerInnen werden in kleine Gruppen aufgeteilt. Jede Gruppe entwickelt drei Ideen, was man mit dem ganzen radioaktiven Müll machen sollte (Vergraben, im Meer versenken, ins Weltall schießen, zur Sonne schießen….). Anschließend präsentieren die Gruppen ihre Ideen vor der Klasse und bieten sie zur Abstimmung an. Vor und Nachteile werden diskutiert.

Bestandteile radioaktiven Mülls

Die SchülerInnen lesen einen Informationstext und notieren sich, aus was radioaktiver Müll besteht. Die Gefahren des Mülls werden im Plenum besprochen.

Sehr geehrter Herr Präsident….

Die SchülerInnen und Schüler verfassen einen Brief, in dem Sie einen Präsidenten in ferner Zukunft auf die Risiken von Gorleben hinweisen und begründen, warum es notwendig war diese Endlager überhaupt anzulegen. In kleinen Gruppen (max. 4 SchülerInnen) lesen sie sich ihre Briefe gegenseitig vor und ergänzen sich.

Diskussion

Die SchülerInnen werden in zwei große Gruppen aufgeteilt. Die eine Gruppe sammelt Argumente für, die andere gegen Atomkraft. Ein Diskussionsleiter wird gewählt und abwechselnd diskutiert. Für die Diskussion gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Ohne Hilfsmittel bei diskussionsfreudigen Klassen
- Mit Ball, der zwischen den Gruppen hin und her geworfen wird
- Als Reißverschlussdiskussion bei wenig diskutierfreudigen Klassen.

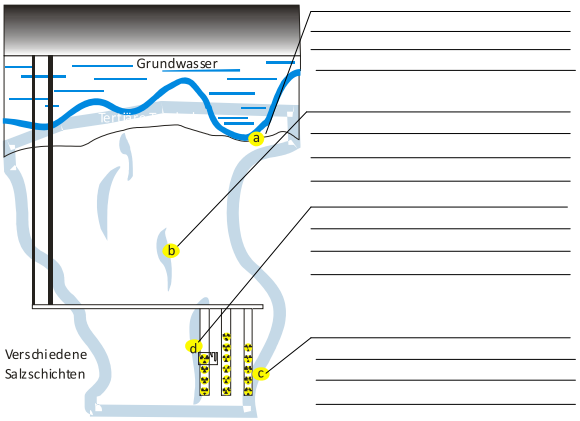
Dabei ist s sinnvoll im Kreis zu sitzen, so dass jeder jeden sehen kann. Der Lehrer beginnt mit einer provokanten These. Der Schüler rechts von ihm versucht ein Gegenargument zu finden. Dann ist der Schüler links vom Lehrer an der Reihe, auf den der Schüler auf der rechten Seite, neben dem ersten Schüler, antworten muss. Die Argumentationskette zieht sich dann durch die ganze Gruppe fort. Die Diskussion kann nach einer Rund beendet sein, indem der letzte Schüler eine abschließende These formuliert. Sie kann aber auch wieder zum Lehrer zurückführen. Vorteil: Jeder Schüler kommt an die Reihe und muss sich spontan auf das zuvor gesagte einlassen.

A11: Woher kommt der Müll – Wohin geht der Müll?

Radioaktiver Müll entsteht an zwei verschiedenen Stellen. Zum einen bei der Herstellung der Brennstäbe und zum anderen bei der Kernspaltung selbst. Die Uran-Spaltprodukte können eine Nukleonenzahl zwischen 95 und 140 haben. Welche Elemente kommen dafür also in Frage? Welche Kombinationen sind möglich?

In der Vergangenheit hat man sich darauf geeinigt, den Atommüll in Endlagern zu verstauen. Als Endlager geeignet sind Ton- und Salzschichten. Warum?

Gorleben ist ein prominentes Beispiel für ein solches Endlager. Die folgende Abbildung zeigt den groben Aufbau des Salzbergwerks. Mit a, b, c, und d sind Schwachstellen des Endlagers markiert. Worum könnte es sich handeln?



A12: Für und Gegen Atomkraft argumentieren

Die folgende Tabelle zeigt einige Argumente von Atomkraftgegnern und Atomkraftbefürwortern. Finde Gegenargumente gegen die einzelnen Punkte indem du dich in die eine oder andere Lage versetzt!

Atomkraftgegner	Atomkraftbefürworter
1/3 der durch Kernspaltungen erzeugten Wärme wird in elektrische Energie umgewandelt. Der Rest geht als Wärme an die Umgebung verloren. Dies kann Einflüsse auf die Umwelt haben.	
	In kleinen Mengen ist radioaktive Strahlung nicht schädlich! Radioaktive Strahler werden sogar bei manchen medizinischen Untersuchungen verwendet!
	Es verbleibt nur ein geringes Restrisiko, dass es zu einem großen Unfall kommt! Da ist es gefährlicher Auto zu fahren!
Es sterben viel mehr Menschen an den Spätfolgen von radioaktiver Strahlung als durch die Medien bekannt wird. Die interessieren sich nicht für Einzelschicksale, sondern nur für große Katastrophen!	
Es ist viel zu gefährlich in einem Atomkraftwerk zu arbeiten! Die Menschen müssen besser geschützt werden!	
	Bei dem Betrieb eines Kernkraftwerks werden keine Treibhausgase freigesetzt!
Bis der radioaktive Müll völlig zerfallen ist wird es sehr lange dauern! Wir hinterlassen unseren Kindern eine sehr große Gefahr!	

4.1.3.8 Literaturempfehlung zum Thema Kernkraft

[A] Härle, W.; Ausstieg aus der Kernenergie? Einstieg in die Verantwortung!, Neukirchener Verlag, Neukirchen, 1986.

[B] Lübbe, H. (Hg.): Fortschritt der Technik, R. v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1987.

[C] Petermann, J. (Hg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert, 3. Auflage, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[D] Pfeifer, V.: Ethisch Argumentieren, Schöningh, Braunschweig, Paderborn, Darmstadt, 2009.

[E] Richter, D.; Energie und Umwelt, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 1986.

[F] Riedel, E.; Anorganische Chemie, 5. Auflage, de Gruyter, Berlin, 2002.

[G] Rubner, J.; Das Energie-Dilemma, Pantheon, München, 2007.

[H] RWE AG (Hg.): Energie! Entdecke was die Welt bewegt!, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[I] Trillhaas, W.: Ethik, 2. Auflage, Alfred Töpelmann, Berlin, 1965.

[J] Weimer, W.: Logisches Argumentieren, Reclam, Stuttgart, 2005.

4.1.4 Unterrichtsmaterial: Brennstoffzellentechnik

4.1.4.1 Kompetenzerwerb

Da klassische Energiespeicher wie Erdöl langsam zu Neige gehen, muss man sich über Alternativen Gedanken machen. Erste Schritte in die richtige Richtung wurden schon mit der Nutzung der Sonnen-, Wind- und Wasserkraft gemacht. Jedoch wird aus diesen Energiequellen lediglich nur Strom erzeugt. Strom kann zwar über Leitungen über lange Strecken transportiert, aber nur sehr schlecht in großen Mengen gespeichert werden. Daher ist Strom als Energieform für die Automobile nicht bzw. nur sehr schlecht brauchbar.

Eine mögliche Lösung dieses Problems bietet die Brennstoffzellentechnik. Die benötigte Energie wird durch eine chemische Reaktion gewonnen. Doch nicht nur die Energie-gewinnung, sondern auch die beim Verbrennungsprozess entstehenden Stoffe spielen eine große Rolle. Während bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen für die Erde schädliche Treibhausgase entstehen, erzeugt die Nutzung von Brennstoffzellen Wasser als Abfallprodukt. Gleichzeitig wird der Feinstaubproblematik, dem sauren Regen und anderen energiebedingten Umweltproblemen entgegen gewirkt.

In chemischen Substanzen ist Energie in Form von Bindungsenergie gespeichert. Wissenschaftlern ist es gelungen mit Hilfe der Brennstoffzelle diese Energie direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Mit den Grundlagen von Alesandro Volta (Entdeckung des Batterieprinzips, 1799) und Michael Faraday (Faradaysche Gesetz- elektrochemisches Grundgesetz, 1832) gelang es William Grove 1839 ein Gerät zu bauen, mit dem aus Wasserstoff und Sauerstoff elektrischer Strom gewonnen werden konnte.

1874 hatte Jules Verne von einer Wasserstoffwirtschaft geträumt, seine Visionen konnten bis heute nicht verwirklicht werden. Gründe dafür sind, dass Wasserstoff in der Natur in reiner Form praktisch nicht vorkommt. Es muss energetisch und technisch aufwändig hergestellt werden. Aus diesem Grund ist Wasserstoff sehr teuer und bei einigen Produktionswegen entstehen sogar hohe Treibhausgasemissionen.

Interdisziplinär ist dieses Thema von Wichtigkeit, da Wirtschaftlichkeit nicht immer deckungsgleich mit den technischen Fortschritten ist. Sprich: Brennstoffzellentechnik ist teuer, der Wirkungsgrad ist manchmal sehr gering. Wem soll diese Technik zur Verfügung stehen? Allgemein war das Thema Technik schon immer von großer Bedeutung. Im Laufe der Zeit erkannte man, dass nicht jeder technische Fortschritt gleichzeitig positive Auswirkungen hat. Sofort stellte man sich die Frage, wer Verantwortung für Technik übernimmt, die falsch angewendet oder durch einen internen Fehler Schaden verursachte. Technik wurde also mit der Zeit ein Fall für die Ethik. Braucht die Brennstoffzellentechnik auch eine Ethik?

Voraussetzungen

Das Material beinhaltet die klassische Brennstoffzelle und ihre Funktionsweise, sowie moderne Techniken, die darauf aufbauen. Schülerinnen und Schülern der Oberstufen sollte der Aufbau von Atomen sowie die Definition von Ionen bekannt sein. Beides wird hier nur noch am Rande angerissen.

Bei der Brennstoffzellentechnik handelt es sich um ein theoretisch nicht völlig simples Thema. Der ethische Aspekt resultiert aber auch hier auch der technischen Grundlage.

Lernziele

1. Teil: Wasser als Abfallprodukt – eine wissenschaftliche Leistung

Eine Besonderheit der Brennstoffzellentechnik ist sicher der emissionsfreie Betrieb. Bei der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff entsteht Wasser als Abfallprodukt. Allerdings müssen natürlich die Edukte auch erstmal beschafft werden. Ist es also emissionsfrei Wasserstoffgas herzustellen und in Metallbomben zu pressen?

Im Folgenden sind die primären Lernziele dieses Abschnitts aufgelistet. Die Schülerinnen und Schüler sollen:

- den Aufbau einer klassischen Wasserstoff-Zelle in eigenen Worten erklären können.
- Wasser als Abfallprodukt benennen können.
- die Elektrolyse als umgekehrten Prozess nennen können.
- erklären können, warum Technik ein Fall für Ethik ist.

2. Teil: Wasserstoffgas und andere Energieträger

Klassischer Weise wird zum Betreiben einer Brennstoffzelle Wasserstoffgas benötigt. Aber es gibt auch alternative Systeme, die den Wasserstoff auf andere Weise zur Verfügung stellen.

Ethisch sind folgende Punkte wichtig: Wie viel Energie kostet es Wasserstoffgas herzustellen? Wie gefährlich ist es mit H_2 herumzufahren? Welche Alternativen gibt es und was kosten sie?

Die Schülerinnen und Schüler sollen nach folgendem Teil:

- einige Eigenschaften von Wasserstoffgas aufzählen und bewerten können.
- erklären können, dass Wasserstoffgas hergestellt werden muss, damit man es in Brennstoffzellen verwenden kann.
- Methoden zur Herstellung von Wasserstoff voneinander unterscheiden und sie nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten bewerten können.
- eine eigene Meinung zur jetzigen und zukünftigen Verwendung von Brennstoffzellen formulieren können.

  den Begriff „Wasserstoffwirtschaft“ erklären und einordnen können.

3. Teil: Elektroautos und Hybride

Die Brennstoffzelle liefert den entscheidenden Vorteil, dass sie im Gegensatz zu anderen alternativen Energien wie Windkraft oder Solarenergie, lokal unabhängig genutzt werden kann. Das heißt, eine Brennstoffzelle ist ganz im Gegenteil zu einem Windrad transportabel. Daher ist es nur logisch, wenn sich die moderne Forschung mit elektro- oder easserstoffbetriebenen Autos beschäftigt. Aber sind solche Fahrzeuge zurzeit ökonomisch und ökologisch sinnvoll?

Nach diesem Teil sollen die Schülerinnen und Schüler:

- erklären können, in welcher Form Wasserstoff betriebene Autos heute auf den Straßen zu finden sind.
- die Kosten von Wasserstoff und Benzin als Kraftstoff vergleichen und das Ergebnis diskutieren können.
- in eigenen Worten wiedergeben können, warum heute mehr Elektroautos als Wasserstoffautos gebaut werden.
- den Begriff des „Hybriden“ erläutern können.
- eine eigene These zur „Logik technischer Entscheidungen“ formulieren können.

4.1.4.2 Teil 1: Wasser als Abfallprodukt – eine wissenschaftliche Leistung

<u>Aufbau von klassischen Brennstoffzellen</u>

Zum Betreiben einer klassischen Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle werden zwei Edukte gebraucht. Wasserstoff und Sauerstoff sind zwei geruchlose, farblose Gase, die molekular vorliegen, wie die folgende Abbildung zeigt.

Abb. 147: Wasserstoff und Sauerstoff

Das bedeutet also, dass sich jeweils zwei Atome zu einem Molekül zusammen chließen. Die Bindungselektronen werden von beiden Atomen geliefert.

Ob ein Atom bei einer Reaktion Elektronen abgibt oder aufnimmt hängt davon ab, an welcher Stelle es im Periodensystem steht. Alle Atome streben immer eine abgeschlossene Schale an, die sie nur dann haben, wenn sie in der letzten Spalte stehen. Man nennt diesen Zustand dann auch Edelgaskonfiguration, weil alle Edelgase eine derartige Elektronenverteilung besitzen.

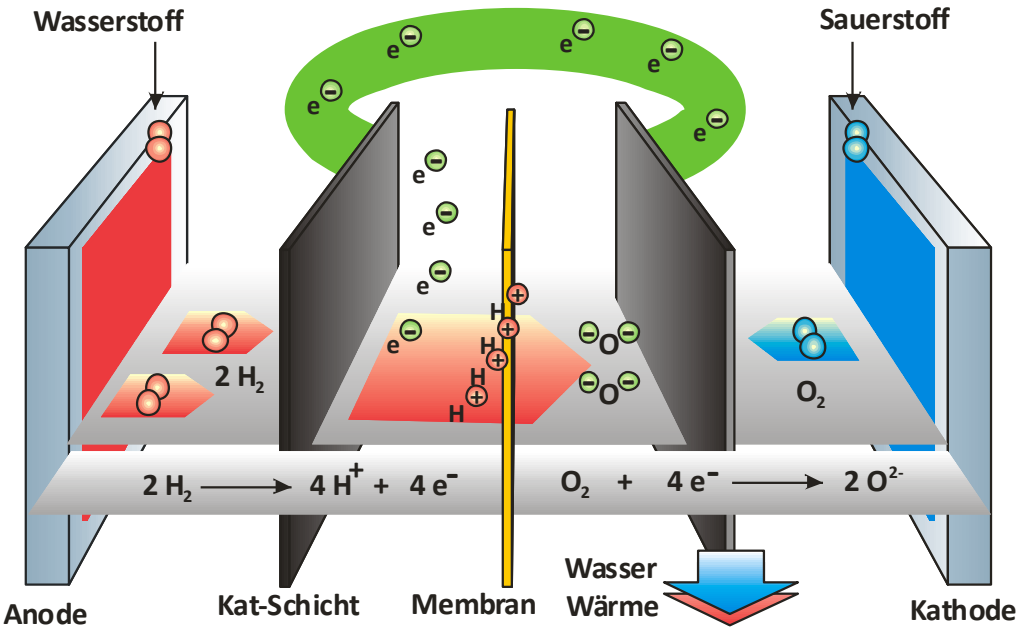


Abb. 148: Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle, Wirkprinzip

Will Sauerstoff (6. Hauptgruppe) die besagte Edelgaskonfiguration erreichen, muss es also am besten zwei weitere Elektronen aufnehmen. Wasserstoff hingegen gibt ein Elektron ab. Das heißt: Wenn Sauerstoff als Ion vorliegt, dann hat es (in den meisten Fällen) zwei Elektronen mehr als normal, ist also zweifach negativ geladen. Es wird dann O^{2-} abgekürzt. Wasserstoff hingegen ist nach der Abgabe eines Elektrons einfach positiv geladen, es wird H^+ abgekürzt und auch als Proton bezeichnet, weil es aus einem Proton und in der Regel aus einem Neutron besteht. Betrachtet man die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle, so erkennt man, dass dort zwei chemische Reaktionen in getrennten Kammern ablaufen.

In der linken Kammer, der Anode, wird über eine elektronisch leitfähige, poröse Gasdiffusionsschicht (rot) Wasserstoff (H_2) zugeführt und gelangt an eine Schicht aus Katalysatorpartikel (schwarz). Dort wird der Wasserstoff in Protonen (H^+) und Elektronen (e^-) gespalten. Wie gesagt, Wasserstoff, gibt „gerne“ sein Elektron ab. Die Elektronen verlassen die Anode über einen elektronisch leitfähigen Draht. Dieser kann an einen elektrischen Verbraucher (z.B. Glühbirne) angeschlossen sein. Dieser wiederum ist mit einem weiteren elektrischen leitenden Draht mit der rechten Kammer, der Kathode, verbunden. In der Kathode gelangt Sauerstoff (O_2) ebenfalls über eine Diffusionsschicht (blau) an eine zweite Katalysatorschicht. Dort reagiert der Sauerstoff (in der Praxis ist es ausreichend wenn Luft verwendet wird) mit den Protonen und Elektronen vom Wasserstoff zu Wasser (H_2O). Das Wasser, sowie der nicht abreagierte Sauerstoff werden kontinuierlich aus der Zelle ausgetragen.
Diese chemische Reaktion (Wasserstoff und Sauerstoff reagieren zu Wasser) ist als Knallgasreaktion bekannt. Bei der klassischen Knallgasreaktion reagieren Wasserstoff und Sauerstoff direkt miteinander, wobei eine explosionsfähige Mischung entsteht.

Ganz anders läuft der Reaktionsprozess in der Brennstoffzelle ab, Wasserstoff und Sauerstoff werden durch eine gasdichte Schicht räumlich voneinander getrennt gehalten, sodass keine explosionsfähige Mischung entstehen kann. Damit Sauerstoff und Wasserstoff trotzdessen reagieren können, wird eine Trennschicht verwendet, welche die positiv geladenen Protonen (H^+) hindurch lässt. Diese Trennschicht ist aus einem Material, das die Bewegung von molekularen Ladungsträgern (Ionen) erlaubt, diese werden als Elektrolyte bezeichnet. Die folgende Tabelle fasst das Gesagte zusammen.

Tab. 12: Prozesse in der klassischen Brennstoffzelle

Prozess	**Wirkungsort**
kontinuierliche Zufuhr von H_2 und O_2	H_2-Zufuhr an der Anode; O_2-Zufuhr an der Kathode
Trennung von H_2 und O_2 durch Elektrolytmembran	Zellmitte
Abgabe von Protonen und Elektronen	Anode
Aufnahme von Protonen und Elektronen	Kathode
kontinuierliche Abfuhr des entstandenen Produktwassers	Kathode

Die Elektrolyse

Elektrolyse ist der Prozess bei dem durch elektrischen Strom eine chemische Reaktion erzwungen werden kann. Daher handelt es sich bei der Brennstoffzelle im Prinzip um die Umkehrung der Elektrolyse.

Eine Brennstoffzelle enthält zwei Elektroden. An der Anode wird je nach Brennstoffzellentyp reiner Wasserstoff oder ein kohlenwasserstoffhaltiges Brenngas, an der Kathode wird reiner Sauerstoff, meist aber Luft, als Oxidationsmittel zugeführt.

Bei der Elektrolyse werden chemische Verbindungen zerlegt, für diesen Vorgang wird Energie benötigt und in Form vom elektrischen Strom geliefert.

Bei der Wasserelektrolyse wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespaltet. Die wichtigste Anwendung dieser Elektrolyse ist die Herstellung von Wasserstoff, der für Brennstoffzellenreaktionen eingesetzt werden kann. Die Elektrolyse von Wasser besteht aus zwei Teilreaktionen, die an beiden Elektroden ablaufen. Die Gesamte Redoxreaktion lautet:

$$2H_2O(l) \xrightarrow{Elektrolyse} 2H_2(g) + O_2(g)$$

Abb. 149: Allgemeine Reaktionsgleichung der Elektrolyse

Für eine bessere Leitfähigkeit des Wassers wird eine Säure oder Base zugegeben, mit der das Wasser zu Ionen reagieren kann. Positiv geladene Oxoniumione (H_3O^+) wandern zur Kathode (negative Ladung). Dort nimmt das Oxoniumion ein Elektron auf, wodurch Wasser und ein Wasserstoffatom entsteht, welches mit einem weiteren H-Atom zum Wasserstoffmolekül weiterreagiert:

$$2H_3O^+ + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2H_2O$$

Abb. 150: Teilgleichung der Elektrolyse an der Kathode

Die negativ geladenen Hydroxid-Anionen wandern zur positiven Anode. Hier werden unter Bildung von Sauerstoff und Wasser Elektronen abgegeben:

$$4OH^- \longrightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

Abb. 151: Teilgleichung der Elektrolyse an der Anode

Die Gesamtreaktion der Elektrolyse des Wassers lautet:

$$4H_3O^+ + 4OH^- \longrightarrow 2H_2 + O_2 + 6H_2O$$

Abb. 152: Gesamtgleichung der Elekrolyse von Wasser

Technik – Ein Fall für die Ethik?

Ob Technik ein Fall für Ethik ist, ist schon lange keine Ansichtssache mehr. Immer wieder zeigen technische Erfindungen, vor allem im Bereich der Militärtechnik, dass Fortschritt auf technischem Gebiet nicht unbedingt mit einem Nutzen für die Menschheit einhergeht. Genau aus diesem Grund werden neue Forschungsgebiete auch erst nach der Freigabe einer Ethikkommission erschlossen.
Der bedeutende Ethiker Hans Jonas formulierte in diesem Zusammenhang fünf Gründe, warum Technik und Ethik zusammengehören:[4]

Ambivalenz der Wirkung

Unter „Ambivalenz der Wirkung“ versteht Jonas die Mehrdeutigkeit, die mit technischem Tun einher geht.
Zum einen kann man die Wirkung der Technik vom Gebrauch aus betrachten: Technik an sich muss in diesem Fall nicht schlecht sein, kann aber durch den Gebrauch zu etwas schlechtem werden. Ein Beispiel: Jede Bratpfanne ist an sich nicht schlecht, kann aber als Waffe zum Einsatz kommen und so zu etwas schlechtem werden.

Zum anderen argumentiert Jonas von einem langfristigen Standpunkt her. Demnach kann man annehmen, dass man sich in einem Handlungszusammenhang befindet, in dem jedes Handeln langfristig die Situation verschlechtert. Dabei ist es egal, ob die Handlung eine direkte positive Wirkung hat oder nicht. Man geht eher davon aus, dass die negative Wirkung erst langfristig zum Tragen kommt. Ein Beispiel: Mit Strom kann man sicherlich viele nützliche Dinge betreiben, langfristig gesehen bringt uns der erhöhte Energieverbrauch aber gleichzeitig auch erhöhte Emissionswerte. Jonas hingegen nimmt an, dass alle technische Anwendung in diesen Handlungszusammenhang fällt und damit langfristig nichts Gutes hervor bringt.

Zwangsläufigkeit der Anwendung

Im Normalfall muss nicht jedes Können unbedingt zur Anwendung kommen. Nicht jeder der reden kann, muss auch ununterbrochen sprechen. In Bezug auf die Technik liegt der Sachverhalt allerdings etwas anders. Technik überlebt nur dann, wenn sie anwendbar ist. Gerade die naturwissenschaftliche Forschung versteht sich heute darin legitimiert, dass sie einen direkten Anwendungsbezug vorweisen kann. Daher ist es zwangsläufig so, dass Technik angewendet wird, es ist ihre Daseinsberechtigung. Ethisch muss dabei natürlich überdacht werden, ob alles, was gebaut werden kann, auch angewendet werden sollte.

Globale Ausmaße in Raum und Zeit

Die Technik von heute hat im Vergleich zwei maßgebliche Dimensionen: Eine räumliche und eine zeitliche.

Räumlich deshalb, weil Technik heute auf einen großen Maßstab hin angelegt ist. Technik, die hier in Europa entwickelt wird, bleibt nicht hier. Technik ist ein globales Phänomen. Wir beeinflussen mit unserer Technik Menschen in aller Welt, egal ob diese zustimmen oder nicht.

Zeitlich deshalb, weil unsere Technik von heute die zukünftigen Generationen beeinflusst. Besonders auffällig ist das im Bereich der Energieproblematik immer dann, wenn es einerseits um Ressourcen geht und andererseits um sicherheitstechnische Langzeitfolgen.

Durchbrechung der Anthropozentrik

In der Vergangenheit war menschlich-ethisches Handeln immer auf andere Menschen ausgerichtet. Doch heute ist es die Natur, die sich plötzlich als schutzbedürftig darstellt. So durchbricht die Technik die Anthropozentrik. Der Mensch kann sich selbst nicht mehr als den Mittelpunkt der Welt verstehen, sondern in sein Interesse rückt die Natur, die durch sein eigenes Handeln erst Schutzbedürftig geworden ist. Die Natur fordert ihr Recht gegenüber dem Menschen ein und so wird die Technik zu einem ethischen Thema.

Die Aufwerfung der metaphysischen Frage

Die Technik wirft ethische Probleme auf, die sich damit beschäftigen, wie menschlich gutes und gesundes Leben auf der Erde gesichert werden kann. Dadurch wird die metaphysische Frageaufgeworfen, die bisher nie gestellt werden musste: Warum überhaupt soll das menschliche Leben so weiter existieren, wie es das jetzt tut? Oder: Warum soll es überhaupt menschliches Leben geben?

Wenn es ein kategorischer Imperativ ist, dass Menschen leben sollen, dann muss es auch ein Imperativ sein, keinerlei technischen Risiken einzugehen, die dieses Leben gefährden könnten. Die Einstellung zum menschlichen Leben an sich ist also maßgeblich entscheidend für den Umgang mit technischem Fortschritt.

4.1.4.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Wasser als Abfallprodukt – eine wissenschaftliche Leistung“

Einstieg

Blitzlicht

Zum Einstieg in das Thema eignet sich ein schnelles Blitzlicht. Die SchülerInnen formulieren der Reihe nach einen Satz, der ihnen spontan einfällt. Dazu wird vorher eine prägnante Frage gestellt wie: Was sind Brennstoffzellen? Wo sind dir Brennstoffzellen schon begegnet? Sind Brennstoffzellen wichtig?

Anschließend können mehrfach gefallene Aussagen an der Tafel gesammelt und besprochen werden.

Interessens-Linie

Das Thema Brennstoffzellentechnik klingt nach Physik. Manche SchülerInnen werden nicht besonders viel Lust haben sich mit Galvanischen Zellen zu beschäftigen. Um dem Luft zu machen eignet sich eine Interessens-Linie. Eine horizontale Linie wird an die Tafel gezeichnet. Links wird notiert „Mich interessiert Brennstoffzellentechnik“. Rechts wird notiert „Ich interessiere mich nicht für Brennstoffzellentechnik“.

Wahrscheinlich wird das Meinungsbild ganz unterschiedlich ausfallen. Nachdem die Lehrperson aber auf diese Weise das Interesse der SchülerInnen wahrgenommen hat, kann erklärt werden, warum Brennstoffzellentechnik überhaupt wichtig ist.

Es kann Informationsmaterial verteilt werden. Die SchülerInnen können aus dem Artikel Gründe heraussuchen, warum Brennstoffzellentechnik wichtig ist.

Arbeitsaufträge

Expertenrunde

Die Schülerinnen und Schüler werden in kleine Gruppen (2 bis 3 SchülerInnen) aufgeteilt. Die Hälfte der Gruppen beschäftigt sich mit der Anoden-Reaktion, die andere Hälfte mit der Kathoden-Reaktion. Nach eine bestimmten Zeit sucht sich jede Anoden-Gruppe eine Kathoden-Gruppe. Gemeinsam wird die Funktionsweise einer klassischen Brennstoffzelle in der Diskussion ermittelt. Dabei werden folgende Leitfragen an der Tafel notiert:

- Welche Reaktion läuft an der Anode/Kathode ab?
- Woher stammen die Edukte der Reaktionen?
- Welche Reaktion könnte zwischen den Produkten der einzelnen Reaktionen ablaufen?
- Wo kann Spannung abgenommen werden?

Rekonstruktion

Die SchülerInnen erhalten eine entsprechende Abbildung und folgende Arbeitsaufträge:

- Erstelle anhand der Beschreibung eine Zeichnung, die den Aufbau und die Funktionsweise der Brennstoffzelle wiedergibt.
- Stelle jeweils eine Gleichung zur Anoden- und zur Kathodenreaktion auf. Formuliere anschließend eine Gesamtgleichung.
- Findet euch in Zweiergruppen zusammen. Erklärt euch nacheinander eure Zeichnungen. Diskutiert dann über Gemeinsamkeiten und Unterschiede, Stärken und Schwächen eurer Zeichnungen.

Knallgasreaktion

Die Knallgasreaktion ist sicherlich ein Eindrückliches Beispiel dafür, welche Reaktionen Wasserstoff eingehen kann. Die meisten SchülerInnen werden den Versuch bereits kennen, aber trotzdem davon begeistert sein. Als LehrerInn der Naturwissenschaften wird es kein Problem sein, den Versuch durchzuführen. LehrerInnen anderer Fächer können sich vielleicht einen „Gast“ einladen, der den versuch vorführen kann.

Nach dem Versuch werden folgende Arbeitsaufträge gestellt:

- Beschreibe Versuchsaufbau, Durchführung und Beobachtung!
- Stelle mit Hilfe deines Vorwissens über die Brennstoffzelle eine Reaktionsgleichung auf!
- Welches Problem siehst du angesichts dieses Versuchs beim Transport von Wasserstoff?

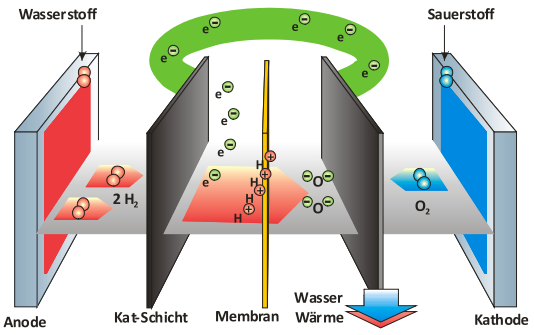
Vor- und Nachteile der Wasserstoffwirtschaft

Im Internet sinde viele Texte und Zeitungsarrtikel zur Thema Wasserstoffwirtschaft zu finden. Es werden Texte ausgewählt, ausgedruckt und vorbereitet. Die Schülerinnen und Schüler erhalten jeweils zu viert einen Text und folgede Arbeitsaufträge:

- Erstellt eine Liste mit den Nachteilen der Wasserstoffwirtschaft
- Überlegt euch Vorteile der Wasserstoffwirtschaft und listet sie auf!
- Wägt die Vor- und Nachteile gegeneinander ab und formuliert ein Fazit!

A1: Die klassische Brennstoffzelle

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die klassische Brennstoffzelle.



1. Formuliere in eigenen Worten, was an Anode und Kathode abläuft!
2. Formuliere jeweils eine Reaktionsgleichung für Anode und Kathode!
3. Formuliere eine Gesamtgleichung! Erkläre in eigenen Worten in welcher Weise die Produkte der Teilreaktionen miteinander reagieren!

Diskutiert erst zu zweit und dann in der Klasse:
1. Welche Vorteile hat die Brennstoffzelle eurer Meinung nach! Stützt eure Aussagen auf die Funktionsweise der Brennstoffzelle!
2. Welche Nachteile könnte die Brennstoffzelle haben?

A2: Elektrolyse

Elektrolyse ist der Prozess bei dem durch elektrischen Strom eine chemische Reaktion erzwungen werden kann. Daher handelt es sich bei der Elektrolyse im Prinzip um die Umkehrung der Brennstoffzellenreaktion. Bei der Elektrolyse werden also chemische Verbindungen (wie zum Beispiel Wasser) zerlegt, für diesen Vorgang wird Energie benötigt und in Form vom elektrischen Strom geliefert.

Bei der Wasserelektrolyse wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespaltet. Sie besteht aus zwei Teilreaktionen, die an beiden Elektroden ablaufen. Die Gesamte Redoxreaktion lautet:

Die Wasserelektrolyse ist die Umkehrung der Brennstoffzelle. Fertige hier eine Skizze an, die Aufbau und Funktionsweise der Elektrolyse zeigt!

Formuliere die beiden Teilgleichungen von Anode und Kathode. Formuliere anschließend die Gesamtgleichung!

Welche Verwendung könnte die Elektrolyse in der Industrie haben? Diskutiert die Vor- und Nachteile!

4.1.4.4 Teil 2: Wasserstoffgas und andere Energieträger

Alles über Wasserstoff

Wasserstoff ist mit Abstand das häufigste Element in unserem Sonnensystem und macht rund 75 % der Masse und über 90 % der Atome aus. Die Sonne sowie viele Gasplaneten bestehen überwiegend aus Wasserstoff. Auf der Erde ist Wasserstoff deutlich seltener vertreten, mit etwa 0,12 %. In der Erdkruste kommt er zwar häufiger vor, jedoch immer in chemisch gebundener Form.

Als reines Gas liegt Wasserstoff auf der Erde praktisch nicht vor, gebunden im Wasser ist es praktisch unbegrenzt verfügbar.

Wasserstoff ist das Element mit der geringsten Dichte. Molekularer Wasserstoff (H_2) ist etwa 14,4-mal leichter als Luft und ist ein farb- und geruchloses Gas.

Tab. 13: Eigenschaften von Wasserstoff

Farbe	Farblos
Geruch	geruchlos
Löslichkeit in Wasser	Sehr gering
Aggregatzustand	Gasförmig
Dichte	0,0899 $kg \cdot m^{-3}$ (bei 273 K)
Schmelzpunkt	14,01 K
Siedepunkt	20,28 K
Molares Volumen	(fest) $11{,}42 \cdot 10^{-6}$ m^3/mol
Brennbarkeit	Brennbar, bildet mit der Luft explosive Gemische

Wasserstoff ist vergleichsweise beständig und wenig reaktiv. Beim Zünden reagiert er jedoch mit Sauerstoff oder Chlor sehr heftig. Bei hohen Temperaturen wird das Gas reaktionsfreudig und geht mit Metallen und Nichtmetallen gleichermaßen Verbindungen ein. Die Reaktion mit Sauerstoff ist als Knallgasreaktion bekannt:

$$O_2 + H_2 \longrightarrow 2H_2O$$

Abb. 153: Knallgasreaktion

Die Reaktion mit Chlor ist als Chlorknallgasreaktion bekannt:

$$Cl_2 + H_2 \longrightarrow 2HCl$$

Abb. 154: Chlorknallgasreaktion

Diese Reaktion lässt sich schon durch die Bestrahlung mit Licht zünden.
Um die Energie des Wasserstoffs nutzen zu können, muss er erst mal in reiner Form erzeugt werden. Dazu ist ein leicht verfügbarer und preiswerter wasserstoffhaltiger Rohstoff nötig. Außer Wasser kommen zusätzlich Kohlenwasserstoff-Verbindungen in Frage (Erdgas/Methan). Industrielle Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff verwenden derzeit fast ausschließlich fossile Energieträger (Erdgas, Erdöl, usw.) als Rohstoff. Zur Herstellung des Wasserstoffs dienen thermische Verfahren wie Dampfreformierung oder partielle Oxidation. Bei diesen Verfahren wird der enthaltene Kohlenstoff in den fossilen Kohlenwasserstoffen chemisch getrennt. Der entstandene Kohlenstoff reagiert mit Sauerstoff zum energetisch nutzbaren Kohlenmonoxid (CO). Das Endprodukt jedoch ist das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2).

Bei der Dampfreformierung wird aus Kohlenwasserstoffen in zwei Prozessschritten Wasserstoff erzeugt. Wie schon oben erwähnt, werden als Ausgangstoffe Erdgas bzw. Erdöl verwendet. Im ersten Schritt werden die langkettigen Kohlenwasserstoffe unter Zugabe von Wasserdampf bei hohen Temperaturen und unter Druck in Methan, Wasserstoff, Kohlemonoxid und Kohlendioxid gespalten.

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3H_2$$

Abb. 155: Erster Schritt der Dampfreformierung

Anschließend folgt eine Gasaufbereitung, die schwefel- und halogenhaltige Verbindungen herausfiltert. Im zweiten Schritt wird Kohlenmonoxid mit Hilfe der Wassergas-Shift-Reaktion an einem Katalysator zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt.

$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2$$

Abb. 156: Zweiter Schritt der Dampfreformierung (Wassergas-Shift-Reaktion)

Neben der partiellen Oxidation ist eine weitere Möglichkeit das Kværner-Verfahren. Dieses nutzt ebenfalls Kohlenwasserstoffe als Ausgangsstoff. Als Abfallprodukt entsteht dabei jedoch Aktivkohle (reiner Kohlenstoff). Wird die Aktivkohle nicht weiter verbrannt, so lassen sich schädliche Treibhausgase vermeiden. Bei diesem Verfahren werden die Kohlenwasserstoffe in einem Plasmabrenner bei hohen Temperaturen vollständig in Aktivkohle und Wasserstoff umgewandelt.

$$C_nH_m \longrightarrow nC + \frac{m}{2}H_2$$

Abb. 157: Reaktion im Plasma-Brenner

Eine klimaverträglichere Herstellung ist hingegen die Elektrolyse, da hier mit Hilfe des elektrischen Stroms Wasser direkt zu Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt wird. Stammt der elektrische Strom aus regenerativen Energieanalgen, so lässt sich der Wasserstoff kohlendioxidfrei herstellen. Neben der Elektrolyse eignen sich weitere Thermische, photochemische oder photobiologische Verfahren, bei welchen ebenfalls Wasser als Edukt verwendet werden kann. Abbildung 158 fasst die eben erwähnten Verfahren zusammen.

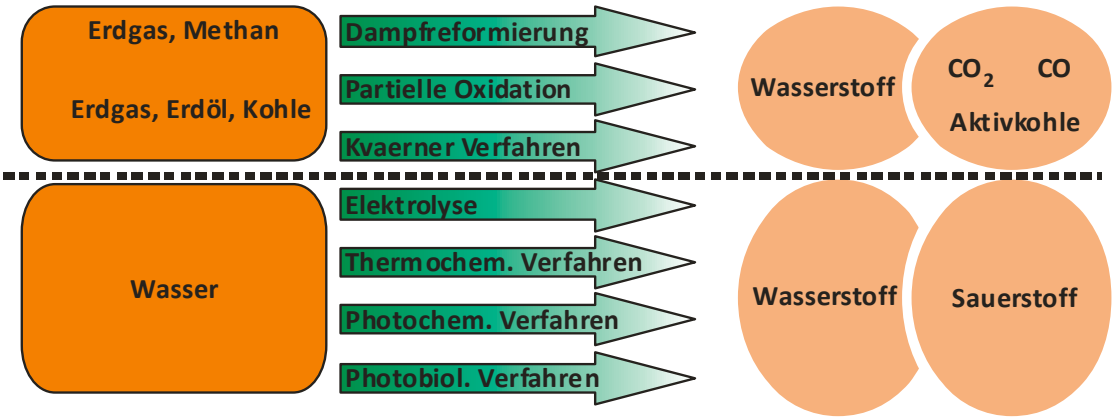


Abb. 158: Übersicht: Herstellung von Wasserstoff

Im Allgemeinen kann Wasserstoff also aus Rohstoffen wie Erdgas (Methan), Kohlewasserstoffen, Biomasse oder Wasser hergestellt werden. Verwendet man Kohlenwasserstoffe in Form von Erdöl, Erdgas oder Kohle zur Herstellung von Wasserstoff, so lässt sich der schädliche CO_2-Ausstoss nicht reduzieren, da dieser bei der Herstellung des Wasserstoffs als Nebenprodukt entsteht. Hinzu kommt, dass die Herstellung von Wasserstoff aus fossilen nicht nur CO_2 emittiert, sondern auch energetisch sehr ungünstig ist. Es ist vorteilhafter Erdöl oder Erdgas direkt zu verbrennen. Das heißt konkret: Will man die Brennstoffzellentechnik verwendet, um klimaaktive Emission zu vermeiden, sind die obersten drei Verfahren aus Abbildung 158 eigentlich unbrauchbar. Die Reaktion in der Brennstoffzelle selbst emittiert keine Treibhausgase, aber viele wissen nicht, dass die Herstellung von Wasserstoff sehr energieintensiv ist. Selbst wenn man eines der unteren Verfahren wählt, muss zunächst eine Menge Energie aufgebracht werden, bis der Wasserstoff in einer Brennstoffzelle genutzt werden kann.

Speicherung und Transport

Wasserstoff ist ein extrem leichtes Gas mit einer sehr geringen Dichte. Im Vergleich zu Erdgas ist zur Speicherung von Wasserstoff mit dem gleichen Energiegehalt ein größerer Speicher notwendig. Dabei ist jedoch der gespeicherte Wasserstoff leichter.

Um das Speichervolumen zu verringern, kann der Wasserstoff verdichtet oder verflüssigt werden. Für die Verflüssigung werden extrem tiefe Temperaturen benötigt (-253 °C; vergleich Erdgas bei -162 °C), für dieses Verfahren ist ein hoher Energieaufwand erforderlich (20- 40 % der im Wasserstoff gespeicherten Energie).

Für den Transport und für die Speicherung des Wasserstoffs lassen sich die schon bekannten Technologien der Erdgaswirtschaft anwenden. Der Transport kann entweder über Pipelines oder spezielle Tanklaster oder -schiffe erfolgen.

Die Lagerung von Wasserstoff über längere Zeit ist aufgrund der kleinen atomaren Größe ein Nachteil, da Wasserstoff durch die Speicherwand (Metalltanks) hindurch diffundieren kann. Dadurch eignen sich für die Speicherung großer Mengen Untertagespeicher.
Trotz dieser aufwendigen Speicherverfahren ist der Transport von Wasserstoff nicht ganz ungefährlich: Wenn ein Wasserstoff-Speicher - egal ob für gasförmigen oder flüssigen Wasserstoff - defekt ist, kann Gas entweichen und durch Kontakt mit Luftsauerstoff kann es zu einer Knallgasreaktion kommen.
Wasserstoff muss aber nicht unbedingt in elementarem Zustand befördert werden. Es bestehen auch die Möglichkeiten ihn in wasserstoffhaltigen Verbindungen, wie z. B. Ammoniak oder Methanol, zu speichern, die weniger gefährlich sind. Der Wasserstoff muss dann durch entsprechende Reaktionen wiedergewonnen werden. Dazu sind teure und aufwändige Reformer-Einheiten erforderlich.

Wasserstoffwirtschaft und Wasserstoffgesellschaft

Wasserstoffwirtschaft gilt als Alternative zur Stromwirtschaft. Da Strom schlechte Speichereigenschaften besitzt, wird überschüssiger Strom zur Wasserstoffherstellung verwendet. Mit Hilfe von Brennstoffzellen kann aus dem gespeicherten Wasserstoff Strom erzeugt werden. Die dabei entstehende Wärme kann zusätzlich zur Bereitstellung von Warmwasser oder auch zur Beheizung genutzt werden. Der Transport und die Speicherung können teils über die schon vorhandenen Pipelines und Tanks erfolgen, die schon bereits heute für das Erdgas verwendet werden.

Jedoch kann Wasserstoff knapper werdendes Öl nicht ersetzen. Der Grund dafür ist, dass Wasserstoff nur ein Sekundärenergieträger ist, d.h. er muss (wie Strom) aus primären Energien gewonnen werden. Da Kohlenwasserstoffe primäre Energien darstellen, werden diese von nuklearen oder erneuerbaren Energien abgelöst.

Der hohe Bedarf an Energie hat heute eine Menge Probleme zur Folge. Aber welche davon könnten durch eine Wasserstoffwirtschaft behoben werden?
Die Verknappung von Energierohstoffen wird sicherlich durch eine Wasserstoffwirtschaft nicht gedeckt. Wasserstoff ist ein Rohstoff, er muss erst aufwendig hergestellt werden. Auch das Klimaproblem wird derzeit noch nicht durch vermehrten Wasserstoffgebrauch gelöst werden können, dafür benötigt die Herstellung von Wasserstoff oder anderen Wasserstoffspeichern zu viel Energie, die oft auf konventionellen Wegen gewonnen wird. Die Brennstoffzellentechnik könnte allerdings die Kraftstoffversorgung im Verkehr und Batterien ersetzen. Die Folgende Tabelle fasst das Gesagte zusammen.

Tab. 14: Probleme und Lösungen

Problem	Lösung durch H_2?
Verknappung von Energierohstoffen	nein
Klimaschutz	derzeit: nein
Kraftstoffversorgung des Verkehrs	ja
Indirekter Stromtransport	nein
Batterieersatz	ja

Einsatz

Neben dem Einsatz als Kraftstoff gilt Wasserstoff auch als Option zur großtechnischen Speicherung von elektrischer Energie. Der Nachteil ist jedoch, dass durch den Transport, die Speicherung und Verstromung relative hohe Verluste entstehen. Daher ist nach heutigem Stand der Technik dieser Nutzungsweg nur in Ausnahmefällen möglich. Analog gilt dies für die Stromerzeugung aus Wasserstoff. Dieser wird in weit entlegenen Gegenden produziert und mit großen Verlusten transportiert.

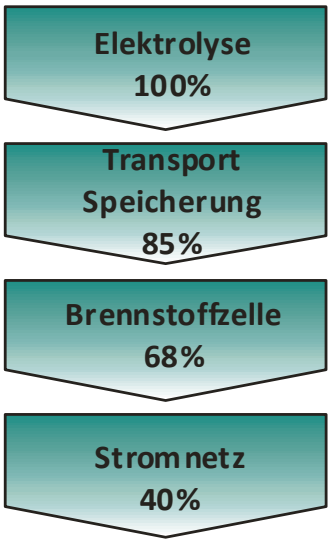


Abb. 159: Verluste bei der Nutzung von Wasserstoff zur Speicherung von elektrischer Energie

So zahlreich die Herstellungsverfahren sind, so zahlreich sind auch die Anwendugsbereiche des Energieträgers Wasserstoff. Schon seit vielen Jahren wird Wasserstoff mit Hilfe fossiler Brennstoffe für die chemische Industrie für verschiedene Produkte hergestellt. Doch nun soll in Zukunft Wasserstoff als Treibstoff an der Tankstelle zu kaufen sein, Gasturbienen sowie Heizkessel sollen mit Hilfe von Wasserstoff Strom bzw. Wärme produzieren und mit Hilfe von Brennstoffzellen kann „mobiler“ Strom erzeugt werden und somit Fahrzeuge betrieben werden.

Einige haben die Vision der „Hydropower-Wunderwelt“. In dieser existieren dezentrale Energienetze, die Gemeinden auf der ganzen Welt miteinander verbinden. Als Vorbild dient hier das

World Wide Web, denn jeder soll gleichzeitig Konsument und Produzent von Energie sein. Ist das realisierbar?
Erste Schritte in diese Richtung werden heute schon vollzogen. Island möchte als erstes Land vollständig unabhängig von fossilen Ressourcen leben. Bis 2050 soll sämtlich benötigte Energie aus geothermischen oder Wind- und Wasserkraftanlagen bezogen werden. Dabei dient Wasserstoff als Energieträger für Autos und Fischkutter. Californien erbaut ein flächendeckendes Netz von Wasserstofftankstellen. Das sind nur einige Beispiele.
Wasserstoff als zukünftiger Energieträger findet jedoch nicht überall Zuspruch, denn die derzeitgen Herstellungsverfahren produzieren nicht zu verachtende Mengen Kohlendioxid. Wird Wasserstoff mit Hilfe von Windkraft und Solarenergie hergestellt, sind die großen Mengen Energie, die benötigt werden sehr teuer.

Eine Wasserstoffgesellschaft: Utsira

Eine „Wasserstoffgesellschaft“ hat als Zielsetzung, Wasserstoff als umweltfreundlichen Energieträger in allen Energie-Verbrauchs-Systeme einzusetzen. Die kleine Insel Utsira (Nordsee) ist eine kleine Kommune Norwegens die seit 2004 den Strom aus regenerativen Energiequellen bezieht. Als primäre Energiequellen dienen Windanalgen. Überschüssige Energie wird dazu verwendet durch Elektrolyse Wasser in Wasserstoff umzuwandeln und zu speichern. Wenn es Windstill oder ganz im Gegenteil zu viel Wind gibt, werden die Verbraucher mit Strom aus Wasserstoff versorgt.
Dieses Projekt wird von den Firmen Norsk Hydro und Enercon gemeinsam betrieben.

Alternative Energieträger

Es gibt verschieden Brennstofftypen, die sich im Wesentlichen durch den Elektrolyten und die zulässigen Brenngase unterscheiden. Da Wasserstoff als Energieträger nur sehr eingeschränkt zur Verfügung steht, möchte man Brennstoffzellen direkt mit anderen, gut verfügbaren Energieträgern betreiben. Als Brenngase können unter anderem Kohlenwasserstoffe, Erdgas oder Methanol dienen. Dazu spaltet ein Reformer in einer Vorstufe die Kohlenwasserstoffe chemisch in Wasserstoff und andere Bestandteile auf. Nach einer Gasreinigungsstufe kann nun der erzeugte Wasserstoff die Brennstoffzelle betreiben. In Abbildung 160 sind verschiedene Brennstoffzellentypen, die jeweiligen Brenngase, Oxidationsmittel, Elektrolyte und Betriebstemperatur dargestellt.

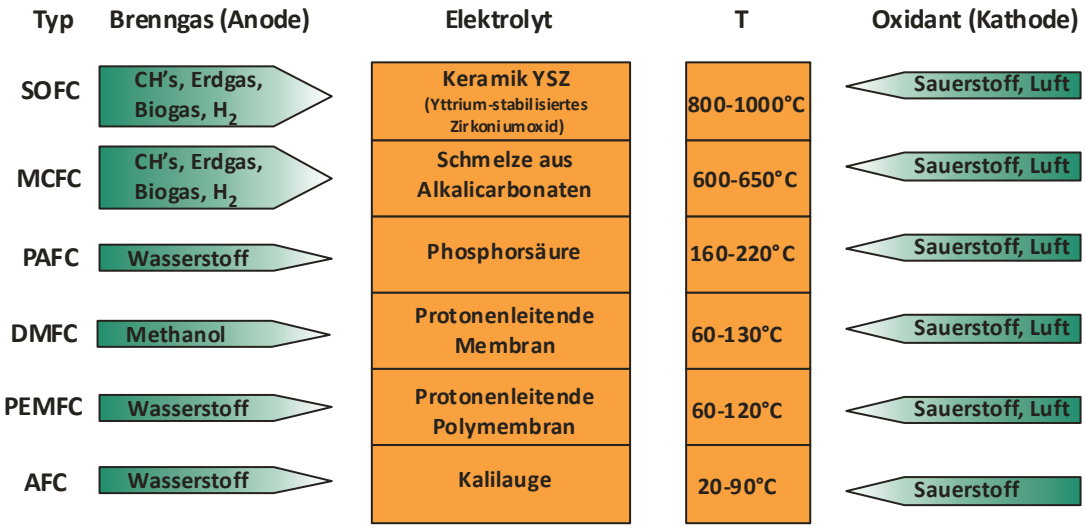


Abb. 160: Verschiedene Brennstoffzellentypen

Da auch die Kohlenwasserstoffe begrenzt vorhanden sind, kann als Ausgangstoff z.B. Natriumborhydrid ($NaBH_4$) verwendet werden. Das Funktionsprinzip ist eine katalytische Hydrolyse des Borhydrids, wodurch elementarer Wasserstoff entsteht, welcher in der Brennstoffzelle eingesetzt wird. Als Produkt entsteht Natriummetaborat ($NaBO_2$), das durch eine Reaktion mit Wasser wieder als Treibstoff nutzbar gemacht werden kann.

<u>Ökonomische und Ökologische Aspekte</u>

Ein Liter Benzin hat ungefähr einen Heizwert von 10 Kilowattstunden, Kosten: ~0,65 € (Angabe ohne Energiesteuersatz). Die Herstellung einer Kilowattstunde Wasserstoff durch Dampfreformierung von Erdgas kostet 0,04 €, für 10 Kilowattstunden folglich 0,40 €. Dies ist jedoch nur der Herstellungspreis, hinzukommen die Verflüssigung, Transport und Lagerung, dadurch verdreifacht sich der angegebene Preis und ist somit fast doppelt so hoch wie der Benzinpreis ohne Steuern (Stand 2009). Die Herstellung von Wasserstoff durch klimaverträglichere Elektrolyse ist deutlich teurer. Über 5 € würde derzeit das Äquivalent von Wasserstoff zum Liter Benzin kosten. Langfristig besteht die Hoffnung, dass Wasserstoff an regenerativen Standorten mit Windkraft, Wasseranlagen und/oder solarthermischen Kraftwerken für umgerechnet 2 € pro Liter Benzin lieferbar ist. Steigt der Benzinpreis über 2 € den Liter, käme der Wasserstoff in einen konkurrenzfähigen Bereich.

Je nach Art der Herstellung von Wasserstoff entsteht mehr oder weniger Kohlendioxid. Die Aussage, dass Wasserstoff als „sauberer" Energieträger gilt, ist somit nicht ganz korrekt. Denn bei der Herstellung von Wasserstoff aus Erdgas durch Dampfreformierung entstehen ca. 300 g CO_2 pro

Kilowattstunde (g CO_2/kWh_{H2}). Bei anderen Herstellungsverfahren, wie z.B. bei der partiellen Oxidation von Schweröl oder bei der Elektrolyse mit Durchnittsstrom, können sogar bis zu 600 g CO_2/kWh_{H2} entstehen. Für die Klimabilanz ist es daher besser, weiterhin Benzin- oder Erdgasautos zu fahren, als auf Wasserstoff umzusteigen.
Wird jedoch die nötige Energie für die Elektrolyse des Wassers für die Herstellung von Wasserstoff aus Wind- oder Solaranlagen gewonnen, so bietet Wasserstoff eine wirkliche Alternative. Somit ist nicht nur das Abfallprodukt wichtig, welches bei der Nutzung eines Energieträgers entsteht, sondern auch die Herstellungsverfahren und damit Verbundenen möglichen Belastungen die ein Energieträger „sauber“ machen.

4.1.4.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Wasserstoffgas und andere Energieträger“

Einstieg

Wasserstoff

An der Tafel werden Eigenschaften von Wasserstoff gesammelt. Anschließend werden für die Verwendung positive Eigenschaften Grün, negative rot unterstrichen.

Vorkommen von Wasserstoff

Die SchülerInnen erhalten den Arbeitsauftrag in der Schulbibliothek, im Internet oder zu Hause zu recherchieren, wo Wasserstoff natürlich vorkommt. Es wird darauf eingegangen, dass Wasserstoff in gasform nur sehr selten vorkommt, aber für die Brennstoffzelle gebraucht wird.

Arbeitsaufträge

Utsira

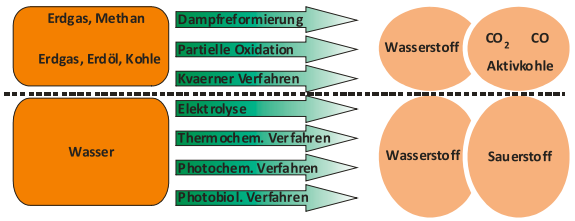
Die SchülerInnen recherchieren im Internet und sammeln stichpunktartige Informationen über Utsira. Anschließend wird im Plenum diskutiert: Könnte eine solche Idee die Lösung für die Energieproblematik sein? Warum kann ein Utsira nicht überall nachgebaut werden?
Bei der Diskussion können die Vor- und Nachteile aus vorherigen Arbeitsaufträgen einbezogen werden.

Zeitungsartikel

Jeder Schüler und jede Schülerin druckt zu Hause einen Zeitungsartikel zum Thema Wasserstoffauto aus dem Internet aus. In der Unterrichtsstunde werden die Ausdrucke eingesammelt und per Zufall wieder verteilt. Die Schülerinnen und Schüler lesen ihre Artikel und formulieren einen Satz, der den Leitgedanken des Artikels wiedergibt. Die Leitgedanken werden in der Klasse vorgelesen (evt. auf Zetteln oder an der Tafel notiert) und anschließend diskutiert.

A3: Herstellung von Wasserstoff

Um eine Brennstoffzelle zu betreiben muss zunächst Wasserstoff hergestellt werden. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie die folgende Abbildung zeigt. Recherchiere die verschiedenen Verfahren und notiere einen Satz zu jedem!

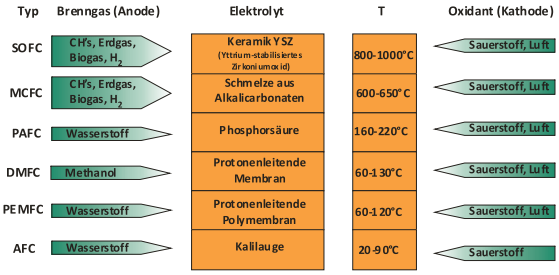


Diskutiert zuerst zu zweit und dann gemeinsam in der Klasse:

1. Welche Verfahren erscheinen euch sinnvoll? Warum?
2. Welche Probleme könnten sich durch die Schwächen der verschiedenen verfahren für die Brennstoffzellentechnik ergeben?

A4: Alternativen zum Wasserstoff

Es gibt verschieden Brennstofftypen, die sich im Wesentlichen durch den Elektrolyten und die zulässigen Brenngase unterscheiden. Als Brenngase können unter anderem Kohlenwasserstoffe, Erdgas oder Methanol dienen. Dazu spaltet ein Reformer in einer Vorstufe die Kohlenwasserstoffe chemisch in Wasserstoff und andere Bestandteile auf. Nach einer Gasreinigungsstufe kann nun der erzeugte Wasserstoff die Brennstoffzelle betreiben.
In der folgenden Abbildung sind verschiedene Brennstoffzellentypen, die jeweiligen Brenngase, Oxidationsmittel, Elektrolyte und Betriebstemperatur dargestellt.



Diskutiert folgende Fragen zu zweit:

1. Was kann man aus der Abbildung ablesen?
2. Welchen Grund hat es, Wasserstoff durch andere Wasserstoff-Lieferanten zu ersetzen?
3. Was bedeuten diese neuen Techniken, wenn man die Nachteile der Wasserstoffwirtschaft mit einbezieht?

4.1.4.6 Teil 3: Elektroautos und Hybride

Die weltweite Produktion von Wasserstoff umfasst derzeit etwa 30 Millionen Tonnen. Im Vergleich dazu lag der weltweite Erdölverbrauch etwa bei 4000 Millionen Tonnen. Einen Großteil des Wasserstoffs verwendet die chemische Industrie, die Energienutzung ist demnach praktisch nicht vorhanden.

Es existieren zurzeit zahlreiche Wasserstoffversuchsautos und demnach gibt es auch nur wenige Wasserstofftankstellen. Der Aufbau einer Wasserstofftankstelle ist mit erheblichen Kosten verbunden. Solange Wasserstoff noch deutlich teurer als herkömmlicher Treibstoff ist, bleiben solche Investitionen erst mal unwahrscheinlich.

Entscheidend ist, dass Wasserstoff billiger und reichhaltiger zur Verfügung gestellt werden kann als die künftig knapperen Kohlenwasserstoffe Erdöl und Erdgas.

Alternative Energiequellen in der Automobilbranche gibt es viele, unter anderem das Elektroauto. Trotz besser werdenden Speicherkapazitäten der Batterien, bietet Wasserstoff doch einige Vorteile, da sich mehr Energie speichern lässt. Wasserstoff kann als Druckwasserstoff (~800 bar) oder als Flüssigwasserstoff (-253 °C) getankt werden und bieten annähernd die uns vertraute Reichweite einer Tankfüllung.

Die wichtigsten Kriterien für den mobilen Gebrauch, im Vergleich zum stationären Einsatz, von Brennstoffzellen sind ein möglichst kleines Leistungsvolumen und Leistungsgewicht. Desweiteren muss die Zelle innerhalb weniger Sekunden leistungsbereit sein und schnellen Lastwechsel (Bremsen und Beschleunigen) standhalten. Diesen Anforderungen sind die Niedertemperatur-Brennstoffzellen gewachsen. Eine bessere Leistung gegenüber den Niedertemperatur-Brennstoffzellen bietet die „Polymer-Elektrolytmembran-Brennstoffzelle“ (PEMFC), denn diese besitzt ein unkompliziertes Kaltstartverhalten. Die optimale Betriebs-temperatur liegt bei etwa 60-80 °C und ist schon nach weniger als einer Minute erreicht. Dank ihrer kompakten Bauweise lassen sich ausreichend niedrige Leistungsvolumina und -gewichte erreichen. Nachteile der PEMFC sind:

- Die Membran muss Wasser in der flüssigen Phase enthalten, damit die Leitfähigkeit der Protonen gewährleistet ist.
- Die Starttemperatur liegt über 0 °C, da die Reaktionsgase angefeuchtet werden müssen, so dass die Membran nicht austrocknet.
- Beim Betrieb mit Ethanol, Methanol oder Benzin (statt reinem Wasserstoff) entsteht neben Kohlendioxid auch Kohlenmonoxid (Gift für die Anode).
- Eine Aufwändige Kühlung ist notwendig.
-

Der Größte derzeitige Nachteil der Brennstoffzelle im Straßenverkehr, sind die damit verbundenen Kosten. Die Kosten derzeitiger PEMFC-Prototypen betragen noch über 10 000 US-Dollar pro Kilowattstunde elektrischer Leistung. Um mit Verbrennungsmotoren konkurrieren zu können, müssen diese auf etwa 30 US-Dollar pro Kilowattstunde gesenkt werden. Trotz hoher Kosten werden Brennstoffzellen-betriebene Prototypen im Straßenverkehr in Bussen und PKW erprobt.
Um die Kosten zu Senken wären folgende Schritte denkbar:

- Massenanfertigung
- Einsatz von billigeren Werkstoffen.

Das Auto der Zukunft

Mobilität und Geschwindigkeit sind in der Natur nicht wegzudenken, denn wer schnell ist, ist der Jäger anstatt der Gejagte. Bei den Menschen bereitet Geschwindigkeit neben dem unterbewussten Vergnügen auch noch selbstbestimmte Mobilität und eigenverantwortliches Handeln. Das Auto kann zur Steigerung des Selbstwertgefühls führen. In den letzten Jahrzehnten wurde mehr Wert auf Novationen als auf die Nachhaltigkeit gelegt. Die Aussage von Paul Virilo „Geschwindigkeit resultiert aus Angst“ kann heute demnach folgendermaßen ausgelegt werden: Aus Angst die Mobilität zu verlieren, sind manche bereit sparsam zu sein oder Geld für teure und komplizierte Spartechniken auszugeben.
In den USA wurden 2006 rund 107 000 Toyota Prius-Exemplare abgesetzt, für 2010 sind eine Million Hybrid-Toyota geplant. Der Toyota Prius hat einen kombinierten Benzin- Elektromotor und gehört somit zu den Hybridelektrofahrzeugen. Dabei wird anfallende überschüssige Energie, wie z.B. beim

Bremsen, über einen Generator für die Akkuladung des Elektromotors verwendet. Besonders im Straßenverkehr trägt die Rückgewinnung zur Verbrauchsverminderung bei. Wird keine oder wenig Antriebsleistung benötigt, so schaltet der Verbrennungsmotor ganz ab, da der Elektromotor die Funktion übernehmen kann.
Mit herkömmlichen Antriebstechniken, wird die chemische Energie des Kraftstoffs in zwei Schritten durch den Verbrennungsmotor in mechanische Energie umgewandelt:
chemische Energie wird in Wärme umgewandelt
die Wärmeenergie wird in mechanische Energie umgewandelt
Bei diesem Prinzip, geht jedoch sehr viel Wärmeenergie verloren. In einem Hybridantrieb durchläuft die Energie deutlich mehr verlustfreie Umwandlungen:

- chemisch→ thermisch→ mechanisch (Verbrennungsmotor)
- mechanisch→ elektrisch (im Generator)
- elektrisch→ chemisch (Aufladen des Akkus)
- chemisch→ elektrisch (Entladen des Akkus)
- elektrisch→ mechanisch (Elektromotor).

Weitere Möglichkeiten ein Auto mit Energie zu versorgen, bieten Flüssiggas oder Erdgas, dies sind Nebenprodukte der Benzinherstellung. Flüssiggas besteht aus einem Gemisch aus Butan und Propan und Erdgas als Energieträger ist bereits für Gasheizungen und -herde bekannt. Die Vorteile dieser beiden Energieträger liegen in der sauberen Verbrennung, im Vergleich zu Benzin oder Diesel, zusätzlich fallen nur geringere Kosten an. Nachteilig ist jedoch, dass die Reichweite je nach Fahrzeug 240-420 km beträgt, der Gasbehälter ist etwas sperrig sowie die Leistung etwas schlechter als bei einem Benzin- oder Dieselmotor.

Doch was soll das Auto der Zukunft antreiben, wenn sogar die aller letzten Quellen des Mineralöls erloschen sind? Die erste Idee waren geeignete Batterien, die den Treibstofftank ersetzen sollten. Nach jahrelanger Forschung, musste man feststellen, dass nach heutigen Stand der Technik kein passender Akku „erfunden“ werden konnte. Eine mögliche Lösung des Problems könnte Wasserstoff und die Brennstoffzelle mit sich bringen. Jedoch gibt es drei Probleme zu bewältigen, die im Folgenden auf den Punkt gebracht sind:

- Transport und Lagerung: da Wasserstoff sehr klein ist, diffundiert dieser durch jedes Gehäuse. Selbst flüssiger Wasserstoff lässt sich schlecht speichern, da bei -253 °C die Isolierung nicht langlebig ist. Als Folge dessen steigt der Druck im Tank und das Gas muss über ein Sicherheitsventil abgelassen werden. Somit steigt bei mehreren Wochen Stillstand die Gefahr einer Knallgasreaktion
- Es wird ein großes Tankvolumen benötigt.
- Das größte Problem ist die Herstellung des Wasserstoffs.

Aufgrund der erwähnten Probleme ist der Wunsch nach einem Wasserstoff-betriebenen Auto langsam verblasst. Die Automobilhersteller kehren nun doch zum Elektroauto zurück und versuchen passende Lithiumionenakkus zu finden. Neben dem hohen Herstellungspreis ist bei den Lithiumionenakkus die Sicherheit ein Problem, da diese bei höheren Temperaturen brandgefährdet sind.

Der aussichtsreichste Kandidat um die Nachkommenschaft von Benzin und Co. scheinen Biokraftstoffe der zweiten Generation. Während Biodiesel zu den Biokraftstoffen der ersten Generation angehöhrt, sind Biokraftstoffe der zweiten Generation aus Biomasse hergestellte Kohlenwasserstoffe. Diesen Biotreibstoff nennt man Sunfuel und er ist vergleichbar mit synthetisch hergestellten Synfuel, mit dem Vorteil, dass er nicht mit ungesunden Chemikalien wie Schwefel und Aromaten, angereichert ist.

Tab. 15: Alternative Kraftstoffe

Synfuel/ V-Power-Diesel	Synthetischer Treibstoff in allen möglichen Spezifikationen, hergestellt aus Erdgas. Triebwerk: Combiend Combustion System (CCS), ein hochkomplexer Zwitter aus Otto- und Dieselmotor.
Biogene Treibstoffe	Biodiesel: Hergestellt aus Rapsöl, durch die Umesterung wird Biodiesel sowie Ethanol gewonnen.

Ein Beispiel

Der japanische Automobilhersteller Honda hat ein Brennstoffzellenfahrzeug mit der Bezeichnung „Honda FCX“ entwickelt. Als Brennstoffzellenelement dient eine PEMFC (proton exchange membrane fuel cell) Brennstoffzelle. Durch den Einsatz des sogenannten „V-Flow-Brennstoffzellenkonzepts“ konnte eine kompaktere und hochwirksamere Brennstoffzelleneinheit entwickelt werden. Bei bisherigen Brennstoffzellen flossen Wasserstoff und das entstandene Wasser horizontal, bei neuen „V-Flow-Brennstoffzellen“ erfolgt der Fluss in die vertikale Richtung, somit ist die Schwerkraft bei der Ableitung des erzeugten Wassers hilfreich. Der verbesserte Wasserabfluss führt somit zu einer leistungsstärkeren Brennstoffzelle. Als Kraftstoff dient komprimiertes Wasserstoffgas, das in einem Hochdruck Wasserstofftank gespeichert wird. Als zusätzliche Energiequelle besitzt der FCX eine kompakte, sehr wirksame Lithium-Ionenbatterie.

Laut Hersteller lassen sich Höchstgeschwindigkeiten von 160 km/h und eine Reichweite von 570 km (170 L Wasserstoffgas) erreichen.

Allerdings ist der Honda FCX Clarity bisher nur in Kalifornien verfügbar. Bis 2011 sollen rund 200 Fahrzeuge produziert werden.

Zur Logik von technischen Entscheidungen

Der Begriff der Technik wird wie selbstverständlich gebrauch. Auf dem neusten Stand der Technik sein, das bedeutet das neuste Handy haben, die schnellste Internetverbindung und ein schnelles Auto. Aber bedeutet es auch nicht gleichsam, diese Technik auch anzuwenden? Die neuste Technik nur zu haben reicht schon lange nicht mehr. Wer ein Handy mit neuster Technik besitzt, aber seine E-Mails nicht mobil von unterwegs aus abruft, hält umgangssprachlich mit der Technik nicht Schritt.
Nach Ropohl zählen zur Technik ebenfalls nicht nur die reinen Hüllen, eben das Handy oder der Labtop. Die Materie ist nichts ohne ihre Ko-Systeme. Ein Beispiel: die Ko-Systeme eines Handys wären demnach nicht nur Hardware und Software, sondern auch die Datenlieferanten und die Kommunikationsgemeinschaft, ohne welche die Technik nicht zur Anwendung käme. Technische Entscheidungen beziehen sich also nicht bloß auf Materie und die Logik technischer Entscheidungen nicht nur auf Sachsysteme. Das optimieren der Qualität der Funktion steht im Vordergrund. Auf die Frage:“ Wie mache ich Technik besser?“ kann man nur antworten, wenn man die Funktionalität eines Geräts im Blick hat. Wofür wird es also benutzt? Erst danach wird die organische Hülle angepasst.
Aus diesem Blickwinkel heraus ergeben sich verschiedene Fragen, die gestellt werden, um die Logik der Technik zu verfolgen:

- In welche Forschung und Entwicklung soll investiert werden?
- Welche Alternativen bieten sich für gewünschte Funktionen an?
- Zu welchem Zweck sollen welche Systeme eingesetzt werden?

Auch im Sinne der Brennstoffzellentechnik, kann dieses Denkschema der Logik der technischen Entscheidung angewendet werden: Immerhin werden brennstoffzellenfahrzeuge nicht allein wegen ihrer organischen Hülle gebaut, sondern um einen gewissen Zweck zu erfüllen. Zusammenfassen kann also jede der drei genannten Fragen in Hinsicht auf Brennstoffzellentechnik beantwortet werden.

4.1.4.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Elektroautos und Hybride“

Einstieg

Neuigkeiten

Die Schülerinnen und Schüler erhalten Zeitungsartikel. Dazu können Leitfragen gestellt werden wie:

• Warum ist die Wasserstoffwirtschaft interessant für uns?
• Welche Auswirkung hat die Wasserstoffwirtschaft auf die Automobilindustrie?

• Welche konkreten Probleme gibt es bei Wasserstoff-betriebenen Autos und welche Lösungsmöglichkeiten gibt es?

IAA

Die SchülerInnen und Schüler recherchieren im Internet, welche Wasserstoffbetriebenen Fahrzeuge dieses Jahr auf der IAA vorgestellt wurden.

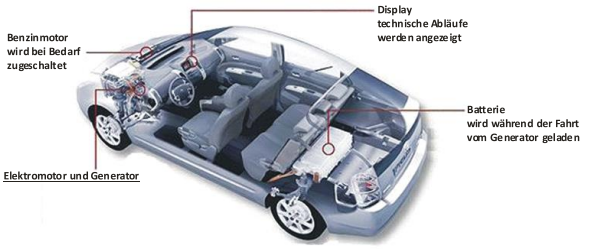
A5: Ein Hybrid Auto

In den USA wurden 2006 rund 107 000 Toyota Prius-Exemplare abgesetzt, für 2010 sind eine Million Hybrid-Toyota geplant. Der Toyota Prius hat einen kombinierten Benzin- Elektromotor und gehört somit zu den Hybridelektrofahrzeugen. Dabei wird anfallende überschüssige Energie, wie z.B. beim Bremsen, über einen Generator für die Akkuladung des Elektromotors verwendet. Besonders im Straßenverkehr trägt die Rückgewinnung zur Verbrauchsverminderung bei. Wird keine oder wenig Antriebsleistung benötigt, so schaltet der Verbrennungsmotor ganz ab, da der Elektromotor die Funktion übernehmen kann.
Mit herkömmlichen Antriebstechniken, wird die chemische Energie des Kraftstoffs in zwei Schritten durch den Verbrennungsmotor in mechanische Energie umgewandelt:

1.) chemische Energie wird in Wärme umgewandelt
2.) die Wärmeenergie wird in mechanische Energie umgewandelt

Bei diesem Prinzip geht jedoch sehr viel Wärmeenergie verloren. In einem Hybridantrieb durchläuft die Energie deutlich mehr verlustfreie Umwandlungen:

1.) chemische E → thermische E → mechanische E (Verbrennungsmotor)
2.) mechanische E→ elektrische E (im Generator)
3.) elektrische E→ chemische E (Aufladen des Akkus)
4.) chemische E → elektrische E (Entladen des Akkus)
5.) elektrische E → mechanische E (Elektromotor)



Erkläre in eigenen Worten und unter Zuhilfenahme der Abbildung wie ein Hybrid arbeitet! Warum ist ein Hybrid Auto „energetisch" günstig? Warum ist das von Vorteil?

4.1.4.8 Literaturempfehlungen zum Thema „Brennstoffzellentechnik"

[A] Baumgartner, H. M., Staudinger, H. (Hg.): Entmoralisierung der Wissenschaften? Physik und Chemie, Wilhelm Finke/Ferdinand Schöningh, Paderborn, 1985.

[B] Bührke, T., Wengenmayr, R. (Hg.): Erneuerbare Energie, 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2010.

[C] Gruss, P., Schüth, F. (Hg.): Die Zukunft der Energie, C[192]. H. Beck, München, 2008.

[D] Lenk, H., Ropohl, G. (Hg.): Technik und Ethik, Reclam, Stuttgart, 1987.

[E] Lübbe, H. (Hg.): Fortschritt der Technik, R. v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1987.

[F] Petermann, J. (Hg.): sichere Energie im 21. Jahrhundert, 3. Auflage, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[G] Poser, H. (Hg.): Herausforderung Technik, Peter Lang, Frankfurt am Main, 2008.

[H] Rubner, J.; Das Energie-Dilemma, Pantheon, München, 2007.

[I] Quaschning, V., Erneuerbare Energien und Klimaschutz, 2. Auflage, Hanser, München, 2010.

4.1.5 Unterrichtsmaterial: Erdöl

4.1.5.1 Kompetenzerwerb

Mineralöle sind heute mehr gefragt denn je. Alle Länder verlangen nach Erdöl, auch wenn sie selbst keine Vorkommen besitzen. Erdöl ist nicht nur Treibstoff und damit Energielieferant, sondern auch die Basis vieler Chemikalien, die nicht zuletzt in der Kunststoffindustrie eine wichtige Rolle spielen.
Den SchülerInnen ist die Diskussion um Erdöl bestimmt nicht entgangen. Natürlich ist eine der wichtigsten Fragen: Was tun, wenn das Erdöl ausgeht? Aber warum geht das Erdöl eigentlich aus? Wo kommt es überhaupt her und wann werden wir ohne Erdöl auskommen müssen?
Die Diskussion um Erdöl beinhaltet viele naturwissenschaftliche, aber auch ethische Aspekte. Wenn den SchülerInnen klar ist, was Erdöl eigentlich ist, wird auch leichter ersichtlich, welche Industriezweige alle davon abhängen. Wenn den SchülerInnen klar ist, wie lange es gedauert hat bis das Erdöl entstanden ist, dann können sie sich auch darüber Gedanken machen, was es bedeutet, wenn der Mensch das gesamte natürliche Vorkommen in einem Bruchteil der Zeit ausgebeutet hat.
Auf dieser Basis ist es Ziel dieses Kapitels, die Verknüpfung zwischen den naturwissenschaftlichen Aspekten und den ethischen Überlegungen herzustellen. Warum also naturwissenschaftliche Fakten lernen? Was bringt das? Es bringt natürlich ein gutes Fundament in der ethischen Diskussion, die uns als gesellschaftsrelevante Debatte Tag für Tag begegnet.

<u>Voraussetzungen</u>

Das Material ist hauptsächlich für SchülerInnen der elften bis dreizehnten Klasse gedacht, weil die SchülerInnen in der Oberstufe bereits organische Verbindungen kennen gelernt haben sollten. Je nachdem wie die Klasse konstituiert ist, eignet sich auch die Anwendung in der zehnten Klasse.
Es wird den Umgang mit dem Stoff, vor allem im ersten Teil erleichtern, wenn die SchülerInnen mit Kohlenwasserstoffen umgehen können. Allerdings ist es keine grundsätzliche Voraussetzung. Soll das Material im Ethik- oder Religionsunterricht angewendet werden, ist es auch möglich den chemischen Teil kürzer zu fassen. Es ist allerdings nicht Sinn und Zweck ihn komplett zu streichen. Die SchülerInnen sollten in jedem Fall verstanden haben, aus welchen Komponenten Erdöl besteht. Wie viel weiterführendes Wissen sie über Kohlenwasserstoffe haben, wird vom Fach abhängen. Voraussetzung für die Bearbeitung der beiden weiteren Kapitel ist allerdings die Kenntnis über die Zusammensetzung von Erdöl. Das erste Kapitel „Das schwarze Gold“ bietet die Möglichkeit kurz zu wiederholen, was Kohlenwasserstoffe sind. Wenn die SchülerInnen dies bereits wissen, kann dieser Teil übersprungen werden.

Lernziele

Teil 1: Das schwarze Gold

Erdöl ist in aller Munde. Allerdings wissen die wenigsten Menschen was sie da eigentlich verbrennen. In diesem ersten Abschnitt stehen folgende Fragen im Vordergrund: Wo kommt das Erdöl her und woraus besteht es? Wie kann man es nutzbar machen? Wie gewinnt man Energie aus Erdöl? Es ist sinnvoll, wenn die SchülerInnen bereits ersten Kontakt mit der organischen Chemie gemacht haben. Allerdings ist es nicht unbedingt notwendig, um die Ölproblematik zu verstehen. Bei einem naturwissenschaftlichen Schwerpunkt ist die Kenntnis über das Element Kohlenstoff allerdings erforderlich. Bei der Setzung eines ethischen Schwerpunkts ist es trotzdem zu empfehlen, sich mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen zu beschäftigen. Viele Sachverhalte werden dann deutlicher.

Die SchülerInnen sollen nach dem ersten Kapitel:

- aufzählen können, aus welchen chemischen Verbindungen Erdöl besteht.
- erklären können, wie das Erdöl entstanden ist.
- erklären können, wie das Erdöl aufbereitet wird (Destillation, cracken).
- den Begriff der Umweltethik erläutern können.

Teil 2: Lebe wohl, Erdöl?!

Die medienwirksamste Nuance des Erdöls ist wohl seine Knappheit. Es werden viele verschiedene Angaben gemacht wann das Erdöl ausgehen wird. Im folgenden Abschnitt geht es inhaltlich um diese Fragen: Wie kommt man drauf, dass das Erdöl ausgehen soll? Wie kann man herausfinden, wann das Öl ausgehen soll? Wie versteht man den Begriff „Ausbeute“ und wie verhält sich der Mensch der Natur gegenüber?

Der Themenschwerpunkt verschiebt sich in diesem Kapitel von rein naturwissenschaftlichen Themen weg. Allerdings sind die im Teil 1 ausgeführten Inhalte grundlegend und werden vor allem auch in Teil 3 wieder aufgegriffen. Die SchülerInnen sollen nach dieser Einheit:

- den Unterschied zwischen Reserve und Ressource erkläre können.
- den Begriff Peak Oil einordnen können.
- verschiedene Faktoren zur Berechnung des Endes des Erdöls nennen können.
- eine eigene Stellung zum Begriff der „Ausbeute“ formulieren können.
- eine Diskussion zum Zeitverhältnis zwischen Erdölentstehung und Erdölverbrauch führen können.
- die Regeln des sokratischen Gesprächs anwenden können.
- den Unterschied zwischen Werten und Normen erklären können.

Teil 3: Synthetisches Öl: Geht das denn?

Das Öl geht aus. Und dann? Was, wenn die konventionellen Ölreserven erschöpft sind? Welche Möglichkeiten haben wir dann, einen Energieträger-Ersatz herzustellen? Dieser Abschnitt beschäftigt sich vor allem mit den Fragen: Kann man Öl synthetisch herstellen? Was sind unkonventionelle Ölquellen?

Nach dieser Einheit sollten die SchülerInnen:

- den Begriff „Fischer-Tropsch-Synthese“ erklären können.
- unkonventionelle Ölquellen nennen können.
- die Vor- und Nachteile der unkonventionellen Ölquellen benennen können.
- darüber diskutieren können, ob man weiter nach synthetischem Ölersatz suchen sollte oder nicht.
- das Schema „Sehen-Urteilen-Handeln“ auf die Meinungsbildung im Falle der Ölproblematik anwenden können.

4.1.5.2 Teil 1: Das schwarze Gold

Aufbau und Entstehung von Erdöl

Erdöl ist weder ein reiner Stoff noch eine reine Verbindung. Es handelt sich um ein Gemisch aus verschiedenen chemischen Verbindungen, die vorwiegend organischer Natur sind. Der größte Bestandteil des Erdöls sind Kohlenwasserstoffe. Daneben sind aber auch Stickstoff-, Schwefel- und Sauerstoffverbindungen sowie anorganische Metalle enthalten. Im Folgenden wird kurz auf die entsprechenden Stoffgruppen eingegangen.

Nichtcyclische Alkane

Alkane sind allgemein Kohlenwasserstoffverbindungen, die nur Einfachbindungen enthalten. Nichtcyclische Alkane sind linear oder verzweigt, bilden also keinen Ring. Die folgende Abbildung zeigt einige (kurze) nichtcyclische Alkane:

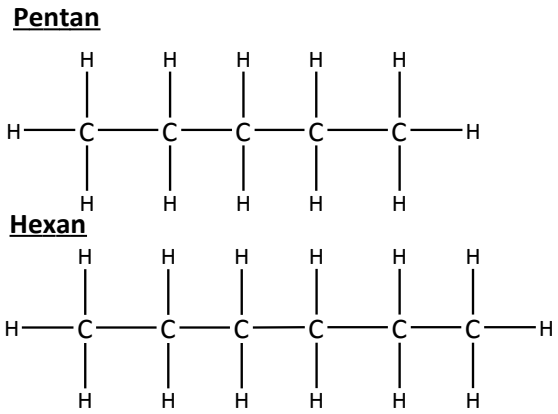


Abb. 161: Nichtcyclische Alkane

Pentan und Hexan sind flüssige und farblose Kohlenwasserstoffe. Die Kettenlänge der Alkane kann strak variieren. Im Erdöl kommen nichtcyclische Alkane vor, die in der Regel zwischen 18 und 32 Kohlenstoffatome lang sind.

Verzweigte Alkane nennt man auch Isoalkane. Der größte Bestandteil von Erdöl sind lange unverzweigte Alkane. Isoalkane haben meistens nur kurze Verzweigungen. Die Gruppe der Nichtcyclischen Alkane wird auch Paraffine genannt.

Cycloalkane

Bei Cycloalkanen handelt es sich um ringförmige Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff, die nur Einfachbindungen enthalten. Die folgende Abbildung zeigt einige Cycloalkane:

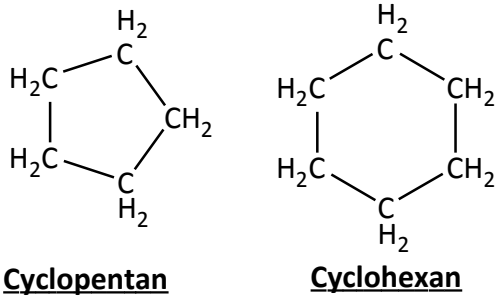


Abb. 162: Cyclische Alkane

Diese Gruppe wird auch Naphthene genannt. Cyclopentan und Cyclohexan kommen beide typischerweise in Erdöl vor.

Aromaten

Aromaten sind cyclische Kohlenwasserstoffe, die immer abwechselnd eine Doppel- und eine Einfachbindung enthalten. Eine solche Anordnung bezeichnet man als konjugiertes System. Allerdings sind nicht alle konjugierten Systeme Aromaten. Die Anzahl der Doppelbindungen ist entscheidend und lässt sich nach einer einfachen Regel berechnen. Abbildung 163 zeigt den wichtigsten Aromaten, das Benzol:

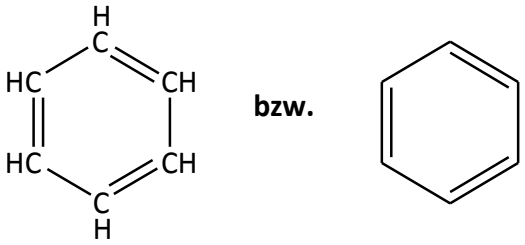


Abb. 163: Benzol

Schwefelverbindungen

Erdöl kann sowohl elementaren Schwefel als auch verschiedene Arten von Schwefel-verbindungen enthalten wie zum Beispiel folgende: Mercaptane, Thiophenole, Sulfide, Thioether, Disulfide, cyclische Sulfide, Thiophene und Benzothiophene. Die folgende Abbildung bietet einen Überblick über die genannten Stoffgruppen:

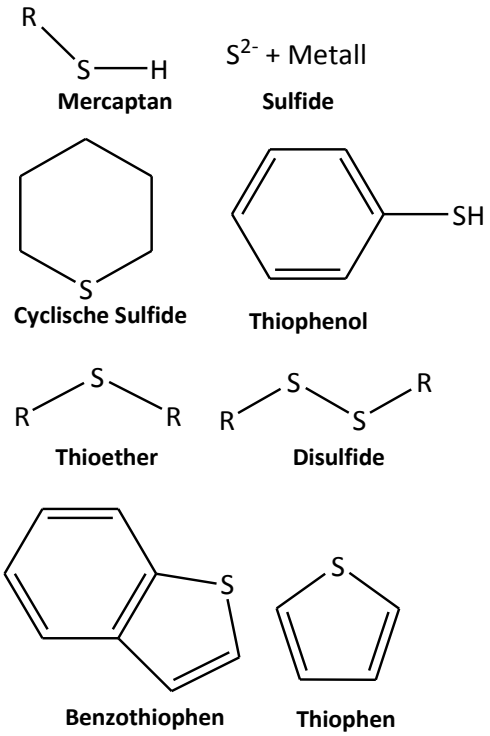


Abb. 164: Schwefelverbindungen

Sauerstoffverbindungen

Auch Sauerstoff kommt in verschiedenster Form im Erdöl vor wie zum Beispiel in Carboxylgruppen, phenolischen Hydroxygruppen und Ethern. Die Carboxylgruppen können sich dabei entweder an nicht-cyclischen Alkanen (Fettsäuren) oder an cyclischen Alkanen (Naphtansäuren) befinden.

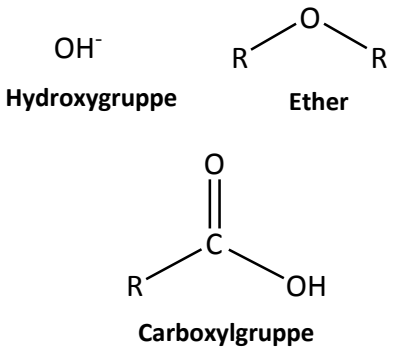


Abb. 165: Sauerstoffverbindungen

Anorganische Bestandteile

Zum einen können Salze wie Natrium- oder Magnesiumchlorid im Erdöl enthalten sein. Zum anderen handelt es sich bei den anorganischen Substanzen um Metalle wie Vanadium und Nickel, die zum Teil als Metallkomplexe, also zusammen mit organischen Verbindungen vorliegen und so öllöslich werden.

Da im Folgenden für die Diskussion um Erdöl die organischen Verbindungen am wichtigsten sind, wird darauf verzichtet weiter auf die anorganischen Bestandteile einzugehen.

Demnach handelt es sich bei Erdöl um ein Gemisch. Es ist verständlich, dass Erdöle aus verschiedenen Gebieten auch unterschiedliche Bestandteile haben können. Zu diesem Zweck wird Erdöl klassifiziert. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Erdöle zu klassifizieren. Eine der einfachsten Möglichkeiten ist die Einteilung in paraffinbasisch (P), gemischtbasisch (G) und naphthenbasisch (N). Naphtene haben eine deutlich höhere Dichte als Paraffine, so können die beiden Fraktionen leicht voneinander abgetrennt werden.

<u>Entstehung von Erdöl</u>

Die Entstehung von Erdöl begann vor 570 Mio. Jahren im Präkambrium. Man geht allgemein davon aus, dass pflanzliche und tierische Organismen wie im Meer lebendes Plankton nach dem Absterben auf den Meeresboden sedimentierten. Dort war das Material von Sauerstoff abgeschlossen und konnte nicht durch oxidative Prozesse zersetzt werden. So entstand ein Faulschlamm, der durch Zersetzung durch anaerobe Bakterien nach einem langen Prozess zu Erdöl umgewandelt wurde. Nach und nach sammelten sich kleine Öltröpfchen in den Poren des Sedimentgesteins, welches das Auftreten anaerober Bakterien begünstigte. Diese Öltröpfchen vereinigten sich allmählich zu größeren, zusammenhängenden mit Sand und Wasser durchsetzten Ölschichten. Schließlich wanderte das Öl aus seinem Muttergestein, was vor allem durch Auftrieb, Druckverhältnisse und Wasserströmungen verursacht wurde.

Für das aufsteigende Öl gab es zwei verschiedene Möglichkeiten: Entweder es trat aus dem Boden aus (natürliche Ölquelle) oder es wurde durch ölundurchlässiges Gestein gefangen (Ölfallen). Allgemein unterscheidet man vier verschiedene Arten von Ölfallen.

Horizontale Faltung
Das Öl sammelt sich in schwachen Faltungen im Erdreich und wird durch ölundurchlässiges Gestein am Austreten gehindert.

Verwerfung
Bei der Verwerfung handelt es sich um sogenannte tektonische Fallen, die durch Bewegungen der Gesteinsschichten entstanden sind.

Antiklinale
Dabei handelt es sich um eine Aufwölbung von porösen und ölundurchlässigen Gesteins-schichten. Oberhalb von Wasser sammeln sich leichtere Öle in porösen Schichten.

Salzstock
Ein Salzstock kann genauso als Ölsperre dienen und das Öl daran hindern aus dem Boden auszutreten. In der Nähe von einem sogenannten Salzdom können sich ebenfalls Vorkommen an Öl finden lassen.

<u>Vorkommen</u>
Erdöl kommt in den Regionen vor, die vor Millionen von Jahren vom Meer bedeckt waren. Deutschlad besitzt so gut wie keine Ölvorkommen und muss sein Öl aus dem Ausland exportieren. Die folgende Tabelle bieten einen Überblick über die Ölreserven im Jahr 2002.[1]
Des Weiteren haben sich mehrere Staaten zusammengetan und bilden die OPEC (Organisation of the Petroleum Exporting Countries). Die Organisation wurde 1960 in Bagdad gegründet und setzt sich zur Zeit aus folgenden Staaten zusammen: Irak, Iran, Kuwait, Saudi-Arabien, Venezuela, Katar, Libyen, Vereinigten Arabischen Emirate, Algerien, Nigeria, Angola, Ecuador. Dieses Bündnis kontrollierte Ende des zwanzigsten Jahrhunderts etwa 40 % der weltweiten Ölförderung und verfügte über 75 % der weltweiten Ölreserven. Obwohl nicht alle Länder mit großen Ölvorkommen der OPEC angehören, handelt es sich hier um einen monopolisierten Markt, auf dem Absprachen über Ölpreise getroffen werden können. Es ist jedoch unsicher, ob tatsächlich alle OPEC Staaten korrekte Angaben zu ihren Ölreserven machen (siehe Teil 2). Da jedoch die Menge an gefördertem Öl sinken wird, wird so der Einfluss der OPEC immer größer werden.

Tab. 16: Ölreserven 2002

Land	Mrd. t
Naher Osten	93,1
Ferner Osten	5,2
Europa	2,6
GUS	10,6
Afrika	10,3
Nordamerika	27,3
Mittel-/Südamerika	15,4
Welt	164,5

Die Raffinerie

Rohöl kann natürlich noch nicht für Verbrennungsprozesse und somit noch nicht zum Energiegewinn verwendet werden. Um es nutzbar zu machen, wird es in der Raffinerie aufgearbeitet. Der erste Schritt bei der Aufarbeitung von Erdölen ist die Destillation bei Normaldruck. Die folgende Abbildung zeigt schematisch in welchen Schritten die Rohöldestillation abläuft.

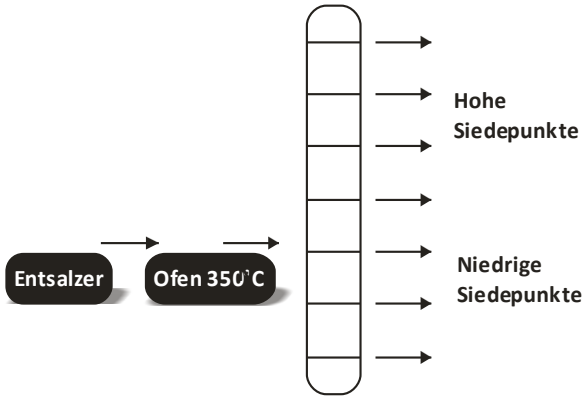


Abb. 166: Atmosphärendestillation

Zunächst wird das Öl einer Entsalzung unterzogen. Dazu wird es mit Wasser extrahiert. Bei einer Extraktion wird eine ölige Phase zusammen mit einer wässrigen Phase ausgeschüttelt. Die Salze, die sich besser in Wasser lösen, gehen dann in die wässrige Phase über und das Öl kann wieder abgetrennt werden.

Bevor das Öl in die Destillationsanlage kommt, wird es zunächst auf 350°C vorgewärmt. Das Gemisch wir anschließend in einer Bodenkolonne getrennt. Zu Beginn befindet es sich in der Kolonne ganz unten und wird erwärmt. Damit die Reste der Destillation nicht „Anbrennen“ wird in der Kolonne der Erdöldestillation heißer Dampf eingeblasen und das Gemisch auf diese Art und Weise erhitzt. Die einzelnen Bestandteile des Gemischs verdampfen und steigen in der Kolonne nach oben. In dieser Richtung nimmt die Temperatur immer mehr ab. Je nach

Kondensationstemperatur verflüssigen sich die Dämpfe an den entsprechenden Böden wieder und werden dann getrennt aufgesammelt.

Die Stoffe, die auch bei geringer Temperatur als Gas vorliegen, werden am oberen Ende der Kolonne über einen Kondensator verflüssigt. Die daraus erhaltene Fraktion wird kondensiert und man erhält Flüssiggas. Nach der Destillation sind die Produkte noch nicht zur Verwendung bereit. Es erfolgen weitere Schritte zur Aufarbeitung der Edukte. Abbildung 167 verdeutlicht das Verfahren.

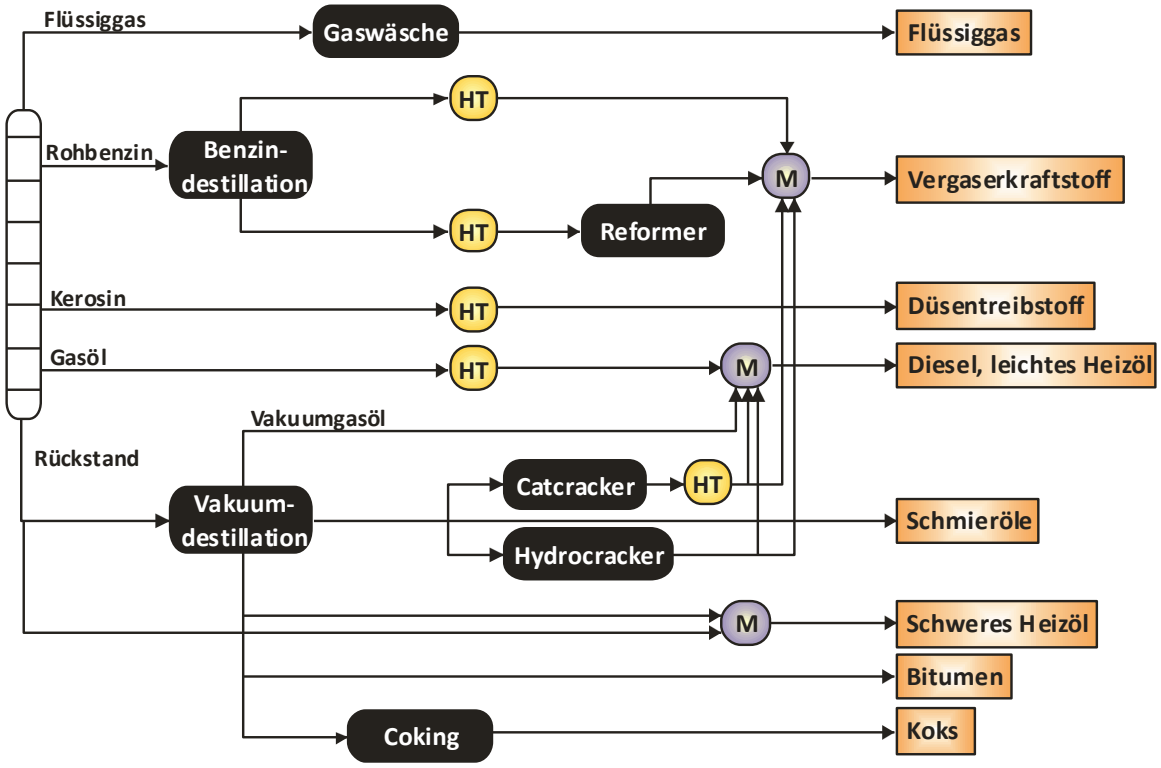


Abb. 167: Verarbeitungsschritte nach der Rohöldestillation[1]

Das Flüssiggas durchläuft eine Gaswäsche, nach der reines Flüssiggas entsteht. Die Fraktion des Rohbenzins wird ebenfalls weiter aufgearbeitet und gereinigt. So entsteht das Leichtbenzin, das einen Hydrotreater (HT) durchläuft. Im Hydrotreater werden Katalysatorgifte, insbesondere Schwefel, entfernt. Die schwerere Fraktion des Rohöls wird ebenfalls durch einen HT aufgereinigt und schließlich in einem Reformer weiterverarbeitet. Dabei werden die unreinen Edukte zu hochwertigen Vergaserkraftstoffen umgewandelt. Über einen Mischer (M) gelangen das Reformat und die aufgereinigte Fraktion des Leichtbenzins wieder zusammen und es kann als Vergaserkraftstoff verwendet werden.

Der Rückstand der Atmosphärendestillation wird anschließend im Vakuum destilliert. Bei niedrigen Drücken sieden die Bestandteile, die sonst über 350°C sieden würden, schon viel früher. Die sogenannten Vakuumdestillate werden in verschiedene Fraktionen aufgeteilt. Entweder sie kommen als Vakuumgasöl über einen Mischer in Diesel und leichtes Heizöl oder sie werden weiteren Prozessen unterzogen. Im Catcracker werden langkettige Paraffine katalytisch in

kurzkettige Moleküle umgewandelt. Im Hydrocracker werden langkettige Moleküle katalytisch gespalten und gleichzeitig durch Wasserstoff hydriert (vgl. Cracking).
Die entsprechen behandelten Fraktionen werden als Bestandteile der Vergaserkraftstoffe eingesetzt. Schließlich kann das Vakuumdestillat auch ohne weitere Aufarbeitung als Schmieröl verwendet werden.
Die Rückstände, die bei der Vakuumdestillation zurück bleiben, können zu schwerem Heizöl oder Bitumen (zähflüssig, zur Asphaltherstellung) weiterverarbeitet oder durch Coking (thermische Zersetzung) zu Koks verarbeitet werden.

Cracking

Bei der Destillation von Erdöl fallen viele langkettige Alkane an, die nicht als Energieträger benutzt werden können. Um verwendbare, kurzkettigere Alkane zu erhalten, werden die langen Ketten gespalten (gecrackt). Grundsätzlich unterscheidet man drei verschiedene Arten von Cracken:

Thermische Spaltung

Das Gemisch langkettiger Alkane wird bei 8 bis 50 bar auf ca. 500°Cerhitzt. Als Beispiel soll an dieser Stelle die Pyrolyse von Hexan dienen. Die Spaltung von C-C oder C-H Bindungen bezeichnet man als Pyrolyse. Dabei entstehen Radikale (ein freies Elektron), die verschiedenste Längen haben können. Ist weder Sauerstoff noch Wasserstoff vorhanden, können die Ketten miteinander reagieren und neue Alkane ausbilden. Wird ein Wasserstoff aus dem Molekül abgespalten entstehen Alkene.

Katalytische Konversionsverfahren

Durch Einsatz von Katalysatoren kann der Prozess des Crackings verbessert werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird erhöht, man erhält einen hohen Anteil von dreigliedrigen und viergliedrigen Kohlenstoffketten und man erhält einen hohen Anteil an verzweigten Ketten, was drauf zurück zu führen ist, dass der Mechanismus anders abläuft.

Hydrocracking

Die Atmosphäre wird mit Wasserstoffgas angereichert. Dadurch können Wasserstoffe aus der Atomsphäre von den Radikalen aufgenommen und so die Alkanketten vervollständigt werden.

Wirkung auf die Umwelt

Warum ist Erdöl eigentlich schädlich für die Umwelt? Erdöl ist ein natürlich entstandener Stoff und wird trotzdem als Umweltsünder verteufelt. Warum?
Von Erdöl gehen im Allgemeinen zwei verschiedene Gefahren aus:

- Das Erdöl kommt in verschiedener Weise in Kontakt mit der „Außenwelt“ und kontaminiert Fauna und Flora. Dies kann auf unterschiedlichste Weise geschehen: Auf natürliche Art, durch Unglücke auf Tankern oder Bohrinseln, durch das Einleiten von ölhaltigen Abfällen in

Flüsse und Binnengewässer, durch nichtgewartete stillgelegte Anlagen. Da Erdöl nicht wasserlöslich ist, kann die Umwelt erheblichen Schaden nehmen, wenn größere Mengen an Erdöl austreten. Das beste Beispiel ist die Katastrophe von 2010 im Golf von Mexiko. Eine solche Verunreinigung durch Öl wird auch als Ölpest bezeichnet.

- Bei der Verbrennung des Erdöls entstehen Treibhausgase, welche Auswirkungen auf den Treibhauseffekt haben.

Umweltethik – Natur und Werte

Die Umweltethik gehört zum Gebiet der praktischen Ethik und wird auch ökologische Ethik genannt. Hauptsächlich beschäftigt sich die Umweltethik mit dem Verhältnis zwischen Mensch und Natur. Grundsätzlich kann der Mensch zwei verschiedene Standpunkte zur Natur einnehmen:

- Eudämonistischer Wert der Natur

Der Mensch versteht die Natur als Basis für gutes menschliches Leben und Glück

- Moralischer Wert der Natur

Der Mensch kümmert sich um die Natur weil (a) er Interesse am weiteren menschlich gutem Leben hab oder weil er (b) Rücksicht auf die Natur an sich nimmt.

Zur Natur gehören belebte (Tiere und Pflanzen) sowie unbelegte (Steine, Mineralien) Komponenten. Grundsätzlich versteht man unter Natur das, was kein Mensch „geschaffen“ hat. Das Gegenteil dazu ist das Artefakt (Tisch, Fahrrad,….). Die Natur selbst ist aus entsteht aus sich selbst heraus und verändert sich auch ohne Zutun des Menschen. Künstliches steht also Natürlichem gegenüber. Allerdings ist es so, dass man hier auf der Erde kaum noch ein Fleckchen Natur findet, dass der ursprünglichen Definition von Natur entspricht. Der Mensch wirkt fast überall auf die Natur ein und überformt sie so. Trotzdem: Legt ein Mensch einen Garten am, müssen die Bäume doch von selbst wachsen.

Auf der anderen Seite hat der Mensch auch einen solchen Einfluss auf die Natur, dass er sie nicht nur überformt, sondern auch verändert. Im Moment wird der Klimawandel in Medien und Wissenschaft stark diskutiert. Ein weiteres Beispiel ist die Ausbeutung der Ölreserven. In diesem Fall wird die natürliche Umwelt vom Menschen derart stark überformt, dass es unwahrscheinlich ist jemals wieder einen Zustand zu erreichen, der dem Ausgangszustand auch nur ähnelt.

Wenn in diesem Sinne für die Natur als „Glücklich-Macher“ oder als „Schatz an sich“ argumentiert wird, wird in der Regel immer auf Werte zurückgegriffen. Zu diesem Zweck kann man sechs verschiedene Werte unterscheiden:

- Instrumentellen Wert
    - Güter oder Dienstleistungen
    - Also Dinge, mit denen man handeln kann und die finanzielle wertvoll sind
- Eudaimonistischen Wert
    - Glücklichmachende Werte im intrinsischen Sinne
    - Gutes und gelingendes menschliches Leben sind das Ziel
    - Handlungen, die zum persönlichen Glück führen und sich um ihrer selbst willen lohnen (z.B. das Spielen eines Instruments)
- Biofunktionale Werte
    - Eine Sache ist faktisch gut für ein nichtmenschliches Lebewesen
    - Der Erhalt des Regenwaldes ist gut für bestimmte Affenarten
- Moralische Selbstwerte
    - Man erlebt sich selbst als zweckhaft wertvoll
- Inhärente Werte
    - Objektive Werte
    - Naturwerte, die allgemein anerkannt sind
    - z.B. der Wert eines sonnigen Tages u. Ä.
- Absolute Werte
    - Werte, die in der Natur selbst zu finden sind und sich als Naturobjekte finden lassen
    - Sie müssen nicht wie objektive Werte erst von einem Menschen beurteilt werden um wertvoll zu sein
    - z.B. Obst

In Hinblick auf die ökologische Ethik ergibt sich eine grundlegende Frage: Hat die Natur einen eigenen moralischen Wert, oder ist sie nur für den Menschen da? Auf diese Frage gibt es also zwei Antworten:

- entweder: die Natur hat einen moralischen Wert (Physiozentrismus)
- oder: sie ist da, um den Menschen zu dienen (Anthropozentrismus)

Der Physiozentrismus wird in drei Gebiete unterteilt:

- Pathozentrismus
    - Alle Wesen, die etwas empfinden können haben einen eigenen moralischen wert
- Biozentrismus
    - Alle Lebewesen haben einen moralischen Wert
- Radikaler Physiozentrismus
    - Die ganze Natur hat einen moralischen Wert

Der Anthropozentrismus wird in zwei Gebiete unterteilt:

a) Moralischer Anthropozentrismus
   Beschäftigt sich damit, was Träger von moralischen Werten ist

b) Epistemischer Anthropozentrismus
Alle Begriffe und alle Einteilungen sind in der menschlicher Sprache formuliert, durch seine Augen gesehen und so vom Menschen geprägt

In Hinsicht auf die Ausbeutung der Ölfelder können ebenso verschiedene Ansätze vertreten werden: Entweder man geht davon aus, dass die Natur für den Menschen da ist. Damit hat die Förderung des Öls seine Berechtigung bis es kein Öl mehr gibt. Geht man vom radikalen Physiozentrischen Ansatz aus, trägt das Öl selbst als Naturprodukt einen Wert. Es darf dann um seiner selbst Willen nicht ausgebeutet werden. Verfolgt man die beiden anderen Physiozentrischen Ansätze, so muss man die Zerstörung der Umwelt durch die Förderung des Öls in Betracht ziehen. In diesem Fall könnte man argumentieren, dass kein Öl, oder nur mit bestimmten Techniken, gefördert werden darf, damit die lebende Natur keinen Schaden nimmt.

4.1.5.3: Arbeitsmaterial zum Thema „Das schwarze Gold“

Einstieg

Blitzlicht

Ein Blitzlicht kann zum Einstieg zu verschiedenen Fragen durchgeführt werden. Grundsätzlich wird eine Frage gestellt, auf welche die SchülerInnen der Reihe nach so schnell wie möglich in einem Satz antworten müssen. Es sind auch Aussagen möglich, zu denen sich die Schülerinnen äußern soll.
Mögliche Aussagen oder Fragen in diesem Zusammenhang wären:

- Woran denkst du als erstes, wenn du „Öl“ hörst?
- Was würde dich zum Thema Erdöl interessieren?
- Kernkraft oder Erdöl?

Molekülbaukästen

Es werden Molekülbaukästen ausgeteilt. Die SchülerInnen werden aufgefordert Moleküle aus AC und OC zu bauen.

Destillation

Die Glasgeräte für eine normale Destillationsapparatur werden bereit gelegt. Zwei oder drei SchülerInnen bauen die Apparatur vorne auf und erklären die Funktionsweise. Später kann zur Erklärung der Bodenkolonne darauf zurückgegriffen werden.

Alltag

Die SchülerInnen erhalten den Auftrag zu notieren, in welchen Situationen sie persönlich Erdöl verbrauchen.

Arbeitsaufträge

Entstehung von Erdöl

Ein Informationstext zum Thema Erdölentstehung wird kopiert und in Streifen geschnitten. Die SchülerInnen teilen sich in Vierergruppen auf. Jeder in der Vierergruppe erhält ein anderes Stück Text. Gemeinsam bringen die SchülerInnen den Text in die korrekte Reihenfolge. Anschließend erhalten sie den Arbeitsauftrag, gemeinsam ein Flussdiagramm zu erstellen. Jeder visualisiert seinen Schritt der Erdölentstehung. Danach werden die einzelnen Bilder zu einem gesamten Bild zusammengefasst.

Im Anschluss können sich immer zwei Vierergruppen zusammensetzen und sich gegenseitig ihr Vorgehen erklären. Dabei können folgende Fragen im Vordergrund stehen: Wie unterscheiden sich die beiden Bilder? Kann man erkennen, wie Erdöl entsteht? Was fehlt? Was ist besonders gut gelungen?

Projekte: Fraktionen des Rohöls

Nach der Rohöldestillation wird das Öl grob in fünf Fraktionen aufgeteilt: Flüssiggas, Rohbenzin, Kerosin, Gasöl und der Rückstand. Die Klasse kann zu diesem Zweck in fünf Gruppen aufgeteilt werden. Der Text zeigt eine Kopiervorlage für die Atmosphärendestillation, die auf Folie kopiert werden kann. Die SchülerInnen sollen erkennen, warum sich das Öl in verschiedene Fraktionen aufteilen lässt. Danach können sie in den Gruppen die verschiedenen Fraktionen bearbeiten und eine Skizze entwerfen, die zeigt, was mit ihrer Fraktion geschieht. Zur Ergebnissicherung eignet sich ein zusammengesetztes Tafelbild: Ganz links an die Tafel wird eine stilistische Kolonne gezeichnet. Die Gruppe „Rückstand“ beginnt und entwickelt ihre Skizze an der Tafel (von unten beginnen), während den MitschülerInnen erklärt wird, was passiert. Dann folgt die nächste Gruppe, welche das Schaubild um ihre Fraktion ergänzt. Wenn nötig kann das Schaubild der Raffinerie auf Folie kopiert und als Vergleich gezeigt werden oder als Kopiervorlage genutzt und an die Klasse ausgeteilt werden.

Aufbau einer Raffinerie - die schnelle Variante

Während sich der letzte Arbeitsaufwand zeitaufwendiger gestaltet, kann der Aufbau einer Raffinerie auch in kürzerer Zeit besprochen werden. Dazu wird die obige Abbildung kopiert. Die SchülerInnen

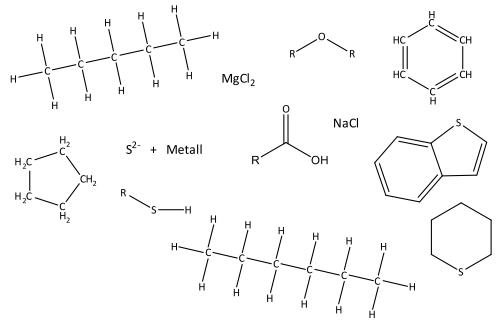
arbeiten in Partnerarbeit. Ein Schüler pro Gruppe erhält die Abbildung einer Raffinerie, ohne das sein Partner sie sehen kann. Dann erhalten die Paare folgenden Auftrag. Derjenige, der die Abbildung vor sich hat, beschriebt die Vorgänge so, dass sein Zuhörer anhand seiner Beschreibung eine Skizze rekonstruieren kann. Anschließen wird „Original“ und „Skizze“ verglichen.

Cracking

Die oben beschriebenen Crackingverfahren werden kopiert und in Streifen geschnitten. Jeder Schüler erhält einen Streifen. Die drei verschiedenen Verfahren sollten ungefähr gleich oft verteilt werden. Die SchülerInnen bekommen fünf Minuten Zeit das Verfahren zu verstehen. Anschließend erhält jeder Schüler ein Arbeitsblatt (siehe unten). Die SchülerInnen werden aufgefordert aufzustehen und sich einen Gesprächspartner zu suchen, der ihnen eines der anderen Verfahren erklären kann. Gleichzeitig bieten sie an, ihr Verfahren zu erklären. Wenn die SchülerInnen das Blatt ausgefüllt haben, besprechen sie mit ihrem Nachbar die anschließenden Fragen.

A1: Anorganik vs. Organik

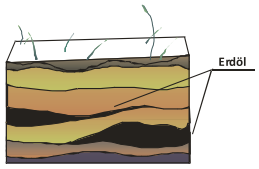
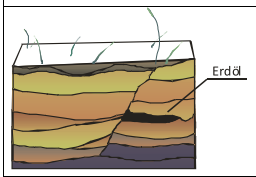
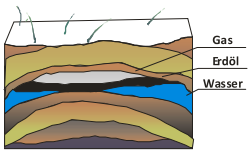
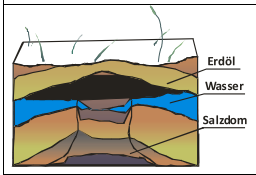
Mache kenntlich, welche der folgenden Verbindungen anorganisch bzw. organisch sind! Erkläre anschließend nach welchen Kriterien du vorgegangen bist!



Stelle dir vor, du unterhältst dich mit jemandem, der keine Ahnung von Chemie hat! Versuche zu erklären, welche Bestandteile Erdöl hat und wie sie aussehen!

A 2: Ölfallen

Ölfallen nennt man geologische Anordnungen, die Öl unter der Erde „gefangen halten“. Öl undurchlässiges Gestein verhindert das Austreten des Öls, was zu unterschiedlich großen Öllagern unter der Erde führt.
Die folgende Tabelle beschreibt die vier Arten von Ölfallen. Ergänze eine Beschreibung!

	**1 Horizontale Faltung**
	**2. Verwerfung**
	**3. Antiklinale**
	**4. Salzdom**

A3: Öl-Welt

Öl ist auf der Welt sehr ungleichmäßig verteilt. Die folgende Tabelle zeigt die größten Ölvorkommen. Mache in der Landkarte sichtbar, wo Erdöl vorkommt!

Land	Mrd. t
Naher Osten	93,1
Ferner Osten	5,2
Europa	2,6
GUS	10,6
Afrika	10,3
Nordamerika	27,3
Mittel-/Südamerika	15,4
Welt	164,5

A4: Aus lang mach kurz: Cracking

Durch den kurzen Infotext hast du eine Cracking-Methode kennen gelernt. Durch Gespräche mit deinen MitschülerInnen wirst du zwei weitere Methoden kennen lernen. Notiere auf diesem Blatt wie die Cracking-Methoden funktionieren. Dabei sollten alle Fragen beantwortet sein!

1. **Thermische Spaltung:**
   - Unter Welchen Bedingungen (p, T) läuft die thermische Spaltung ab?
   - Wie unterscheiden sich Produkte und Edukte?

2. **Katalytische Konversionsverfahren**
   - Was ist der Vorteil an einem Katalysator?
   - Welche Produkte können erhalten werden?
   - Warum wird das Verfahren „Konversion" genannt?

3. Hydrocracking
   - Wie muss ein Reaktor ausgestattet sein, der zum Hydrocracking verwendet wird?
   - Welche Produkte kann man erhalten?

Diskutiere folgende Fragen mit deinem Nachbarn:
1. **Welche Vorteile haben die einzelnen Crackingverfahren?**
2. **Warum gibt es verschiedene Methoden, um lange Alkane zu spalten?**
3. **Ist es sinnvoll sehr viel Energie in das Cracken von Erdöl zu stecken, obwohl man doch eigentlich Energie gewinnen will?**

4.1.5.4 Teil 2: Lebe wohl, Erdöl?!

Reserven und Ressourcen

Grundsätzlich ist zwischen den beiden Begriffen der Reserve und der Ressource zu unterscheiden. In der allgemeinen Diskussion werden von den erdölfördernden Ländern die Ölreserven angegeben. Dieser Begriff beschreibt Lagerstätten, die nachgewiesen und durch Bohrungen bestätigt wurden und mit der heutigen Technik abzubauen sind. Diese Definition ist allerdings nicht sehr genau. Es gibt keine Möglichkeit die Angaben der Länder zu überprüfen. Neben den konventionellen Öllagern gibt es nämlich auch unkonventionelle Lager, die manchmal in die Zählung aufgenommen werden.

Die Ressourcen beschreiben stattdessen die nachgewiesenen Ölmengen, die aber wirtschaftlich oder technisch noch nicht zu fördern sind. Dazu gehören zum Beispiel Ölschiefer oder auch Tiefseeöle, die in mehreren tausend Metern liegen. Zu den Ressourcen zählen außerdem Öllager, die noch nicht nachgewiesen, aber auf Grund von geologischen Faktoren zu erwarten sind.

Das Gesamtpotential an Öl umfasst die gesamte gewinnbare Menge eines Rohstoffs in der Erdkruste. Zieht man von dieser Größe das bisher geförderte Öl ab, erhält man das verbleibende Potential.

Wie lange reicht das Erdöl noch?

Ölverbrauch

Die Angaben zum Ölverbrauch der Länder sind unterschiedlich. Pro Tag werden derzeit ungefähr 86 Mio. Barrel konsumiert. Ein Barrel entspricht dabei 117 L. Die internationale Ölagentur geht davon aus, dass der Ölverbrauch bis 2030 auf 120 Mio. Barrel pro Tag steigt. Die folgend Tabelle Zeigt, wie viel Öl verschiedene Länder verbrauchen:

Tab. 17: Verbrauch verschiedener Länder[193]

	Verbrauch pro Tag in Barrel
USA	20,1 Mio.
China	6 Mio.
Deutschland	2,7 Mio.

Rechnet man das auf einen einzelnen Menschen um, dann erhält man folgende Zahlen: Ein US-Bürger verbraucht pro Jahr im Schnitt 26 Barrel Öl, ein Bürger der BRD 11,7 Barrel und ein Chinese 1,7 Barrel Öl.

Verschiedene mehr oder weniger offizielle Stellen haben im Laufe der Zeit unterschiedliche Angaben dazu gemacht, wie lange der Mensch sich noch auf das Erdöl verlassen kann. Hier eine kurze Zusammenfassung:

- Geologe Colin J. Campbell (Fachmann)

Alle großen Ölfelder sind entdeckt und es werden keine großartigen Neuentdeckungen mehr gemacht! Seit den achtziger Jahren wird die gefördert Ölmenge immer weniger!

- BP-Konzern

Die Reserven reichen noch für 40 Jahre (Stand 2004). Wenn man technisch noch weitere Ressourcen erschließt, dann noch länger.

- Club of Rome (Zusammenschluss von Naturwissenschaftlern und Ökonomen)

Anfang der siebziger ist die Grenze des Wachstums erreicht.

- Geophysiker M. King Hubbert

Vertreter der Oil-Peak-Theorie. Das Maximum der Fördermenge ist in den siebziger Jahren erreicht (was sich bestätigt hat).

- World Oil Supply

Um die Jahrtausendwende wird das weltweite Produktionsmaximum erreicht werden.

Wie man sieht, äußern sich nur wenige Fachleute konkret zu der Frage, wie lang das Erdöl noch reichen soll. Das liegt daran, dass sie von vielen Faktoren abhängt:

- Technische Entwicklung

Wenn neue Techniken entwickelt werden um Öl zu fördern, könnte das Erdöl länger reichen.

- Ökonomische Entwicklung

Je nachdem, wie viel der Mensch bereit ist zu zahlen, kann auch auf den ersten Blick unökonomisches Öl gefördert werden.

- Umweltpolitische Entwicklung

Die Förderung unkonventioneller Ölquellen geht häufig mit einer Zerstörung der Umwelt einher. Je nachdem, welche Kompromisse der Mensch noch eingeht, werden Ölfelder liegen bleiben oder ausgebeutet.

- Entwicklung des Energieverbrauchs

Zurzeit verbrauchen wir 86 Mio. Barrel. Aber das wird nicht so bleiben, vor allem weil manche Schwellenländer auf ihr Recht Pochen auch Öl verbrauchen zu dürfen.

BP macht eine ziemlich genaue Angabe darüber, wie lange das Öl noch reichen wird. Allerdings wird in dieser Berechnung nicht berücksichtigt, dass der Ölverbrauch noch weiter steigt. Zurzeit verbrauchen wir weltweit 86 Mio. Barrel pro Jahr. Gefördert werden allerdings nur 85 Mio. Die verbleibenden Mio. kommen aus Vorräten. Kanada gibt in seinen Ölreserven auch die theoretisch aus Ölsanden förderbaren Mengen Öl an, welche weder ökologisch noch ökonomisch ausgebeutet werden können. Wie man sieht ist eine genaue Bestimmung nicht sehr einfach. Die Gewissheit bleibt aber: das Öl wird ausgehen und das vermutlich vor 2050. Ein Jahr, das die SchülerInnen miterleben werden.

Peak-Oil und Hubbert-Kurve

Aber woher weiß man eigentlich, dass das Öl ausgeht? Woher weiß man, wann eine Quelle versiegt und ob es nicht noch viel mehr Ölfelder gibt als gedacht? Zur Detektion der Ölfelder gibt es zurzeit eine sehr ausgefeilte Technik, die sogenannte 3-D oder sogar 4-D-Seismetik. Dabei werden Schallwellen Richtung Erde geschickt, die an unterschiedlichen Gesteinsarten unterschiedlich reflektiert werden. So kann poröses von kompaktem Gestein unterschieden werden. In porösem Gestein kann Erdöl vermutete werden.

Wann ein Ölfeld erschöpft ist, kann in etwa berechnet werden. M. King Hubbert fand bereits 1956 heraus, dass sich die Ausbeutung eines Ölfeldes in einer Glockenkurve darstellen lässt. Wird ein Ölfeld gefunden, steigt die Fördermenge zunächst an, bis sie einen Grenzwert erreicht hat, also bis zu einem gewissen Peak. Dann nimmt die förderbare Ölmenge immer weiter ab bis die Quelle

schließlich versiegt. Diese Annahmen kann man auf die gesamte Menge an förderbarem Öl projizieren. Weltweit werden also die angebohrten Ölfallen nach und nach immer weniger Ausbeute bringen sobald sie den Peak überschritten haben.
Die sogenannte Hubbert Kurve zeigt, wann der Oil-Peak für die verschiedenen Länder erreicht sein wird. Wenn man die unkonventionellen Ölquellen, wie Tiefseeöl und Polaröl mit hinein nimmt verschiebt sich der weltweite Oil-Peak auf 2010.

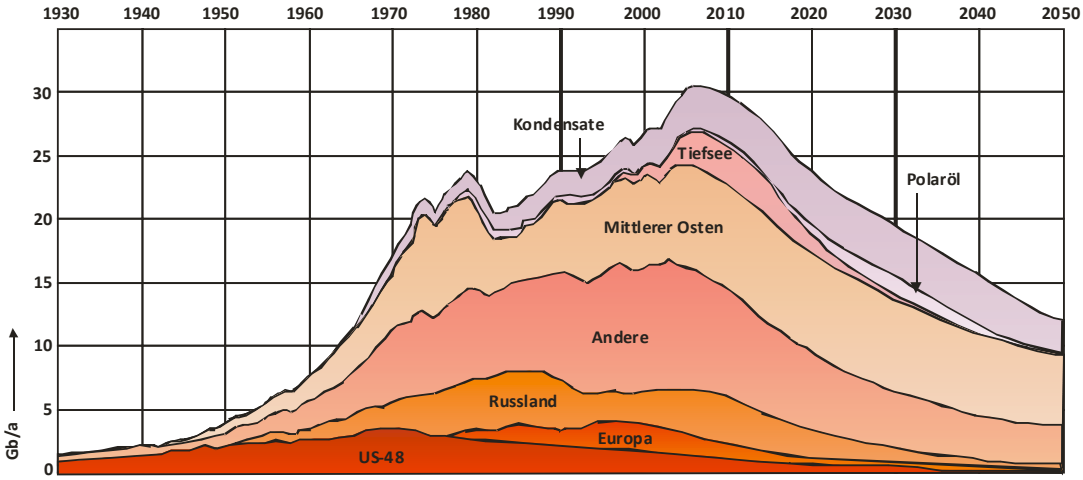


Abb. 168: Hubbert-Kurve[194]

<u>Der Begriff der Ausbeute – das sokratische Gespräch</u>

Der Begriff Ausbeute macht klar, was gerade passiert. Im Zusammenhang mit Öl wird er immer wieder gebraucht, ist meist nur schwach negativ konnotiert. Aber tatsächlich beutet der Mensch den Planeten aus. Ausbeuten - das bedeutet Ausnutzen und Verbrauchen. Und was wird unseren Kindern hinterlassen? Ein verbrauchter Planet, den unsere Generation bis zum Limit ausgenutzt hat?
Die zukünftige Generation wird kein Erdöl mehr haben, weil wir bereits alles verbraucht haben. Betrachtet man den langen Prozess der Entstehung des Erdöls, so wird die Ausbeutung noch drastischer. Was in Millionen von Jahren entstand, wird nun innerhalb einiger Jahrzehnte verbraucht. Die erste Ölfalle wurde 1859 von Edwin Drake angebohrt. Zunächst wusste man nichts mit dem schwarzen Gold anzufangen. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts wurde Öl als Medizin verkauft. Und knapp 150 Jahre später sind die Lagerstätten leer. Der gleiche Prozess steht der Kohle bevor, nur dass sie einige Jahre länger überlebt hat.

Sokrates lebte von 469 bis 399 v. Chr. und von ihm selbst sind keine Dokumente erhalten. Sein Schüler Aristoteles verwendete die Figur seines Lehrers in vielen philosophischen Schriften. Unter anderem findet man in seinen Dialogen das sokratische Gespräch, dass von These und Gegenthese bestimmt ist. Alltäglich verwendete Begriffe werden durch Analyse abgegrenzt. Durch gezieltes

Nachfragen eines dominierenden Gesprächspartners wird der andere Partner zum Nachdenken und Antworten angeregt.
Ein wesentlicher Punkt dabei ist die Unterscheidung von Existenz und Essenz. Unter Existenz versteht man das Dasein von Gegenständen, unter Essenz das Wesen der Gegenstände. Um der Essenz auf die Spur zu kommen ist ein konkreter Reflexionsprozess einzelner Beispiele von Nöten. Vom Einzelnen kann dann durch Abstraktion das Wahrgenommene verallgemeinert werden. Nach und nach werden wesentliche Merkmale einer Sache herausgearbeitet, bis eine Verallgemeinerung getroffen werden kann.
Im Fall der Energiepolitik und der Ölförderung kann man verschiedene Beobachtungen aufstellen, die uns Tag für Tag begegnen. Wenn man diese Thesen schrittweise bearbeitet, kann man verschiedene Begriffe herauskristallisieren und schließlich eine verallgemeinerte These aufstellen, die zum Beispiel die Meinung über bestimmte Sachverhalte abbildet.
Die Auswahl der Einzelbeobachtungen wird in Hinsicht auf eine übergeordnete Problemstellung getätigt. Eine solche wäre Beispielsweise: Wie ist der Begriff der Ausbeute zu verstehen? Eine Problemstellung kann aber auch anhand einer persönlichen Meinung entstehen. Zum Beispiel kann jemand folgende These vertreten: Die Natur ist für den Menschen da und das Erdöl darf ausgebeutet werden! Ein weiteres Beispiel wäre: Erdöl hat keinen moralischen Wert und kann deshalb aufgebraucht werden.
Im Anschluss werden dann dem Thesen-Steller Fragen gestellt, die auf Alltagserfahrungen beruhen. Ein möglicher Gesprächsverlauf wäre demnach:

- Thesensteller: Die Natur ist für den Menschen da! Wir sollten so viel Erdöl fördern wie es geht!
- Gesprächspartner: Du sagst, dass die Natur für uns Menschen da ist. Aus Erfahrung weiß ich aber, dass es viele Pflanzen gibt, die giftig sind. Bist du auch der Meinung, dass diese giftigen Pflanzen für uns gut sind?

Oder

- Gesprächspartner: Du sagst, dass die Natur für uns Menschen da ist. Bei Erdöl handelt es sich um keinen lebenden Organismus. Was ist aber mit Lebewesen? Bist du der Ansicht, dass ich mein Haustier zu meinem Vergnügen quälen darf, weil es mir gehört und für mein glückliches Leben da ist?

Diese Beispiele sind natürlich sehr philosophisch gelagert, es sind aber viele Ausgangsthesen möglich. Folgende Punkte sind dennoch für alle Fragestellungen gültig:

- Ein (philosophisches/ethisches) Problem soll gelöst werden
- Ausgangspunkt sind lebenseigene Erfahrungen
- Der Gesprächspartner dominiert das Gespräch und stellt Fragen, der Thesensteller antwortet und lässt sich auf die Fragen ein

- Im Vordergrund sollen die Begriffe analysiert werden
- Eine Übereinkunft ist gewünscht

Für den didaktischen Gebrauch kann man das sokratische Gespräch in folgende Phasen aufteilen:

- Formulierung der Hauptthese, Sammeln von Informationen , lesen von Texten….
- Gespräch in zweier Gruppen: ein Vertreter der Hauptthese , ein Gesprächspartner
- Formulieren eines gemeinsamen „Fazits“

Folgende praktischen Anleitungen können beim konkreten Gespräch hilfreich sein:[195]

Klares Denken

- Meinst du, dass…?
- Wenn du … sagst, meinst du … oder …?
- Folgt aus dem, was du sagst …?
- Kannst du sowohl … als auch … sagen?
- Vorhin hast du behauptet, dass …. Jetzt behauptest du …. Erkläre den Unterschied!
- Meinst du, dass es zweifelhaft ist, dass…?
- Stimmst du mit … überein?

Begründungen einfordern

- Warum hast du behauptet, dass …?
- Warum bist du der Ansicht, dass du Recht hast?
- Warum denkst du, dass das ein guter Grund ist?
- Wiedersprechen sich deine Gründe?

Unterscheidungen herausfinden

- Ist … dasselbe wie …? Warum? Warum nicht?
- Durch welche Merkmale unterscheiden sich … und …?
- Nenne ein Merkmal, dass auf … nicht zutrifft.

<u>Werte und Normen - Güterabwägung</u>

Wie bereits im ersten Teil festgestellt, werden verschiedene Werttypen unterschieden. Grundsätzlich handelt es sich bei Werten also um unbewusste oder bewusste Orientierungen in der Umwelt. Um ein Werturteil zu bestimmen kann man folgendes Schema nutzen:

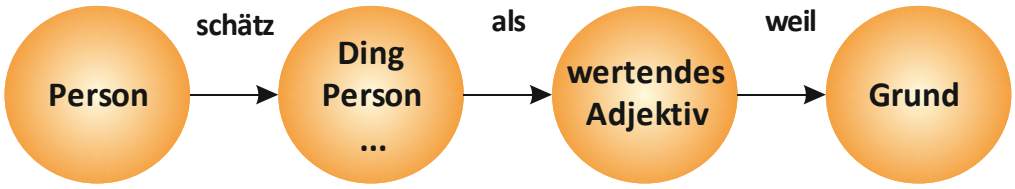


Abb. 169: Werturteil[196]

Eine Person schätzt also ein Ding, eine Person einen Zustand, eine andere Meinung usw. ein. Mit einem wertenden Adjektiv wie nett, gut, langsam usw. kommt dieses Werturteil zum Ausdruck. Anschließend wird ein Grund angegeben.
Ein mögliches Beispiel wäre: Ich schätze die derzeit verbrauchte Ölmenge pro Kopf als zu hoch ein, weil nicht genug Öl für alle über einen lange Zeitraum zur Verfügung steht.

Werte gelten in unterschiedlichen Bereichen und können so in Kategorien eingeteilt werden, die nicht mit den Werten aus dem ersten Teil zu verwechseln sind.[196]

- Pflichten (gegenüber Personen oder Institutionen)
- Rechte (auf Leben, Gesundheit, Bildung, …)
- Nutzen (In Hinblick auf Glück, Gemeinwohl, …)
- Intrinsische Werte (persönlicher objektiver Wert; Bildung, Kultur, Musik, …)
- Persönliche Ideale (Ausdauer, Zielstrebigkeit, …)

Von den Werten unterscheidet man die Normen. Werte beziehen sich also auf Orientierungsmuster. Sie beantworten die Frage: Was ist richtig und was ist falsch? Normen hingegen geben konkrete Anweisung zum Handeln. Sie antworten auf die Fragen: Wie soll ich mich verhalten, um einem Wert gerecht zu werden?

Ein Beispiel: Umweltschutz kann eine allgemeine Zielorientierung und damit ein Wert sein. Die dazugehörige Norm wäre: Verhalte dich der Natur gegenüber verantwortlich! Oder: Lebe umweltbewusst! Oder konkreter: Trenne den Müll und fahre Fahrrad statt Auto!

Wie man sieht, gehört jedem Wert eine oder mehrere Normen an. Der Wert liefert das Ziel, die Norm die Handlung. Um eine Norm zu konkretisieren, muss sie verschiedene Faktoren erfüllen:

- Sie muss einem bestimmten Charakter oder Typ entsprechen.
    - Technische Norm (z.B. eine DIN-Norm)
    - Moralnorm („Du sollst nicht lügen, lästern…“)
    - Rechtsnorm (Gesetze)
- Sie muss einen Inhalt in Form von Sinn oder Bedeutung haben.
- Die Anwendungsbedingungen müssen geklärt sein. Wann und Wie soll also die Norm umgesetzt werden?
- Die Norm muss einer Autorität unterliegen. Es muss klar sein, wer die Norm erlassen hat.

- Die Adressaten der Norm müssen klar sein.
- Ausnahmeklauseln müssen klar formuliert sein.
- Es muss transparent sein, welche Sanktionen bei Normverstoß eintreten.

Eine gültige Norm in Hinsicht auf die Energie- und Ölpolitik ist zum Beispiel: Du sollst kein Öl in die Umwelt gießen! Diese Norm ist (1) eine Rechtsnorm. Jeder weiß, dass er seinen Ölwechsel nicht auf der Straße machen darf. Die Norm hat (2) eine Bedeutung: sie schützt die Umweltwelt und dient damit dem Ziel (dem Wert Umweltschutz). Es ist (3) geklärt, wie die Norm umgesetzt werden soll und sie unterliegt (4) einer stattlichen Autorität. Sie ist für (5) für alle BürgerInnen gültig. Ausnahmen (6) vor Sanktion (7) in Form von Bußgeldern gibt es nur dann, wenn ein Unfall vorliegt (z. B. im Straßenverkehr).

Dadurch, dass verschiedene Menschen unterschiedliche Werte haben und damit unterschiedlichen Normen folgen, kommt es zu Konflikten. Um diese Konflikte zu lösen werden die jeweiligen Güter (Werte) gegeneinander abgewogen. Diesen Vorgang nennt man Güterabwägung. Bei dem Vergleich von Werten stellt sich allerdings immer die Frage, ob diese überhaupt miteinander vergleichbar sind. Im Allgemeinen gibt es dazu die Monistische und die pluralistische Auffassung. Die monistische Sichtweise geht davon aus, dass es eine quantitative Messskala gibt, mit deren Hilfe man Werten verschiedene Werthaftigkeiten zuordnen kann. Diese Skala der Werthaftigkeit antwortet auf die Frage: wie wichtig ist der Wert? Sie kann auf alle Werte angewendet werden. Die pluralistische Sichtweise bestreitet die Existenz einer solchen Skala Sie geht davon aus, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Werte gibt, die sich nicht miteinander vergleichen lassen.

4.1.5.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Lebe wohl, Erdöl?!“

Einstieg

Blitzlicht

Ein Blitzlicht kann zum Einstieg zu verschiedenen Fragen durchgeführt werden. Grundsätzlich wird eine Frage gestellt, auf welche die SchülerInnen der Reihe nach so schnell wie möglich in einem Satz antworten müssen. Es sind auch Aussagen möglich, zu denen sich die Schülerinnen äußern soll.
Mögliche Aussagen oder Fragen in diesem Zusammenhang wären:

- Woran denkst du als erstes, wenn du „Öl“ hörst?
- Was würde dich zum Thema Erdöl interessieren?
- Kernkraft oder Erdöl?

Ölhandel

Es werden dreimal so viele Zettel benötigt wie es SchülerInnen in der Klasse gibt. Auf ein Drittel der Zettel wird ein schwarzer Kreis gemalt. Dann werden die Zettel gemischt und verdeckt verteilt. Jeder Schüler erhält drei Zettel. Es wird erklärt, dass alle SchülerInnen mit drei Kreisen eine 1 bekommen, alle mit 2 Kreisen eine 2, alle mit einem Kreis eine 3, alle mit keinem Kreis eine 4 (Note).

Je nach Klasse werden vielleicht aufgrund dieser Ungerechtigkeit Proteste aufkommen. Es wird den SchülerInnen eine Möglichkeit aufgezeigt, wie sie ihre Noten verbessern können: Es ist erlaubt die Karten der anderen Mitschüler zu „ertauschen" oder den MitschülerInnen abzukaufen. Schnell wird sich zeigen, dass niemand seine gute Position aufgeben will.

Es wird die Verbindung zum Erdölvorkommen gezogen: Nicht alle Länder haben gleich viel Öl, manche sind durch natürlichen Zufall im Vorteil. Auf der einen Seite soll das Weltvorkommen an Erdöl geteilt werden, auf der anderen Seite will ein Land seinen Vorteil nicht aufgeben.

Alltag

Die SchülerInnen erhalten den Auftrag zu notieren, in welchen Situationen sie persönlich Erdöl verbrauchen.

Arbeitsaufträge

Ölpest

Online finden Sie einen Artikel aus der Zeitschrift „chemie&more" (2. Ausgabe aus 2010). Dort berichtet ein Fachmann über die Versuche, mit der Ölkatastrophe im Golf von Mexiko fertig zu werden. Zu diesem Artikel könnten folgende Aufgaben gestellt werden.

- *Reproduktiv:* Was wurde alles unternommen, um das Öl vor dem Austreten zu hindern? Welche Probleme spricht der Autor in dem Artikel an?
- *Bewertend:* Informiere dich im Internet über die genannten Chemikalien. Wie bewertest du ihren Einsatz im Meer? Welche der genannten Maßnahmen erscheinen dir sinnvoll? Welche Faktoren werden wahrscheinlich auf lange Sicht zu einem Problem?

Gier oder Fortschritt?

Den SchülerInnen wird im Plenum klar gemacht, wie lange es gedauert hat bis das Erdöl durch natürliche Prozesse entstanden ist. Anschließend wird die Frage gestellt: Gier oder Fortschritt? Ist der Mensch einfach nur gierig gewesen, indem er den zukünftigen Generationen kein Erdöl mehr übrig ließ oder bringt der durch die Ölindustrie schnell voranschreitende Fortschritt auch im Technischen Gebiet nur Vorteile für die künftigen Generationen? Mit Hilfe einer Meinungslinie an der Tafel kann eine gute Diskussionsgrundlage geschaffen werden. In horizontaler Richtung wird

eine Linie an die Tafel gezeichnet. An ein Ende wird Gier, am anderen Ende Fortschritt notiert. Die SchülerInnen kommen an die Tafel und zeigen durch ein Kreuz auf der Linie, wo sie sich positionieren möchten. Wer will kann danach kommentieren, warum er sich an dieser bestimmten Stelle sieht. In der Diskussion kann auf das allgemeine Meinungsbild der Klasse eingegangen werden.

Unkonventionelles Öl

Der obige Text wird kopiert und in Streifen geschnitten (ein Streifen pro Dreiergruppe), so dass Dreiergruppen entstehen, in denen jede Art unkonventionellen Öls vorkommt. Die Papierstreifen werden ausgeteilt. Die SchülerInnen erhalten einige Minuten, um sich zu informieren. Dann treffen sich die SchülerInnen in ihren Gruppen und stellen ihr Thema vor. Anschließend werden im Plenum Vor- und Nachteile der unkonventionellen Ölquellen gesammelt und diskutiert.

A5: Das Öl wird knapp – Fachvokabular

1. Was eigentlich?

Informiere dich im folgenden Text über die Fachvokabeln in der Öldiskussion!

Grundsätzlich ist zwischen den beiden Begriffen der Reserve und der Ressource zu unterscheiden. In der allgemeinen Diskussion werden von den erdölfördernden Ländern die Ölreserven angegeben. Dieser Begriff beschreibt Lagerstätten, die nachgewiesen und durch Bohrungen bestätigt und mit der heutigen Technik abzubauen sind. Diese Definition ist allerdings nicht sehr genau. Es gibt auch keine Möglichkeit die Angaben der Länder zu überprüfen. Neben den konventionellen Öllagern gibt es nämlich auch unkonventionelle Lager, die manchmal in die Zählung aufgenommen werden. Konventionelle Öllager sind Ölvorkommen, in denen das Öl in flüssiger Form in einer Ölfalle gefangen ist.
Die Ressourcen beschreiben stattdessen die nachgewiesenen Ölmengen, die aber wirtschaftlich oder technisch noch nicht zu fördern sind. Dazu gehören zum Beispiel Ölschiefer oder auch Tiefseeöle, die in mehreren tausend Metern Tiefe liegen. Zu den Ressourcen zählen außerdem Öllager, die noch nicht nachgewiesen, aber auf Grund von geologischen Faktoren zu erwarten sind.
Das Gesamtpotential an Öl umfasst die gesamte gewinnbare Menge eines Rohstoffs in der Erdkruste. Zieht man von dieser Größe das bisher geförderte Öl ab, erhält man das verbleibende Potential.

2. Warum eigentlich?

Begründe in Stichpunkten, warum es deiner Meinung nach wichtig ist, die Fachvokabeln zu beherrschen, wenn man in der Energiediskussion mitreden will!

_____

_____

_____

_____

_____

3. Diskussion

Diskutiere mit deinem Nachbarn folgende Fragen:

a. **Warum muss man überhaupt zwischen Reserve und Ressource unterscheiden?**
b. **Warum sollten Ölkonzerne ein Interesse daran haben, nicht offen zu legen, wie viel Öl sie wirklich zur Verfügung haben?**

A6: Ölverbrauch – eine einfache Rechnung

In Deutschland verbraucht jeder Bürger statistisch gesehen 0,03 Barrel (4,77 L) pro Tag. Zurzeit leben in Deutschland 81,8 Mio. Menschen. Berechne folgende Werte!

Verbrauch Erdöl in Deutschland pro Kopf und pro Jahr:_____

Gesamtverbrauch Erdöl in Deutschland pro Tag:_____

Gesamtverbrauch Erdöl in Deutschland pro Jahr:_____

Zum Vergleich: In den USA leben 303,3 Mio. Menschen. Die US-Amerikaner verbrauchen pro Tag 20,1 Mio. Barrel Öl. Berechne folgende Werte:

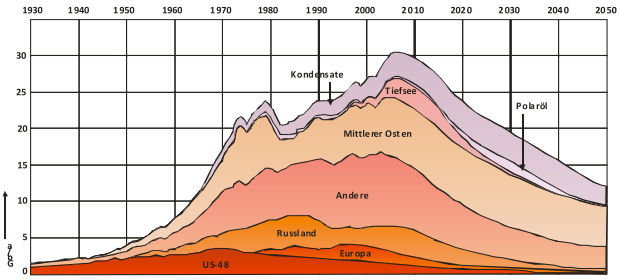
Verbrauch Erdöl in den USA pro Kopf und pro Tag:_____

Verbrauch Erdöl in den USA pro Kopf und pro Jahr:_____

Gesamtverbrauch Erdöl in Deutschland pro Jahr:_____

A7: Wann geht das Öl aus?

Die folgende Abbildung zeigt die sogenannte Hubbert-Kurve. Interpretiere, was die Kurven aussagen!



Nenne Faktoren, die deiner Meinung nach berücksichtig werden müssen, wenn errechnet wird wie lange das Erdöl noch ausreichen wird!

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

A8: Ausbeute

Finde eine Definition für den Begriff „Ausbeute" im Allgemeinen!

_____
_____
_____

Finde eine Definition für den Begriff „Ausbeute" in Hinsicht auf Erdöl!

_____
_____
_____

Vergleiche deine Definitionen mit deinem Nachbarn. Diskutiert dann folgende Fragen:

a. Ist der Begriff der Ausbeutung für dich eher negativ oder positiv belegt?
b. Angenommen das Erdöl wird in vierzig Jahren erschöpft sein: Ist es gerecht jetzt so viel Erdöl wie möglich auszubeuten?

Stelle dir vor, du bist in vierzig Jahren Bundespräsidentin! Verfasse einen kurzen Brief an die Bevölkerung, in dem du rechtfertigst, warum es nötig war, das gesamte Erdöl auszubeuten!

_____
_____
_____

anschließend besser wurde, ging das Interesse an der Synthese verloren. Grundsätzlich lohnt sich dieses Verfahren nur an Standorten mit billiger Kohle (vgl. auch Kapitel 4.1.4).
Im ersten Schritt wird aus Kohle eine Mischung aus CO und H_2 hergestellt, das sogenannte Synthesegas:

$$\text{Kohle} \xrightarrow{\text{Luft, } H_2O,\ \Delta T} x\text{CO} + y\text{H}_2$$

Abb. 170: Herstellung des Synthesegases

Eine neue Möglichkeit zur Darstellung von Synthesegas ist die Umsetzung von Methan und Sauerstoff:

$$CH_4 + 1/2\ O_2 \rightleftharpoons CO + 2H_2$$

Abb. 171: Synthesegas aus Methan

Danach können verschiedene Kohlenwasserstoffe mit Hilfe eines Metall-Katalysators erzeugt werden. Diese Verbindungen können als flüssiger Kraftstoff eingesetzt werden. Daher wird diese Synthese auch als Benzin-Synthese bezeichnet. Folgende Abbildung verdeutlicht den Mechanismus an der Metalloberfläche:

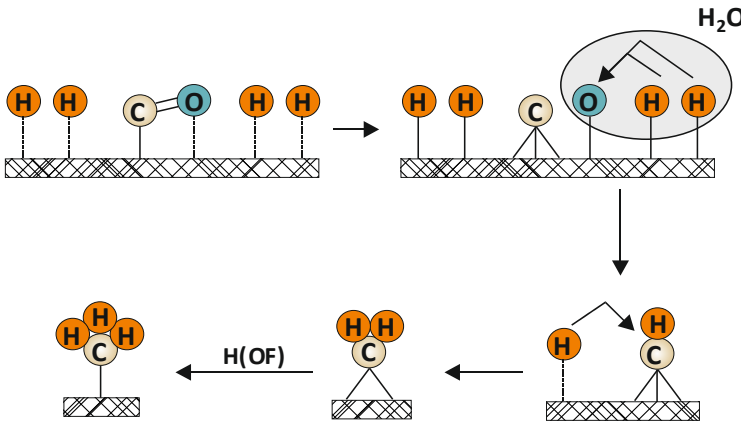


Abb. 172: Abläufe auf der Katalysatoroberfläche

Es handelt sich also um eine heterogene Katalyse. Die Edukte werden zunächst an der Metalloberfläche absorbiert und schließlich gebunden. Dadurch werden die einzelnen Atome frei beweglich und bewegen sich auf der Oberfläche. Durch Abspaltung von Wasser und durch Abstraktion eines Wasserstoffs der Katalysatoroberfläche (OF) kann schließlich der erste Kohlenwasserstoff entstehen: eine CH_3-Gruppe.

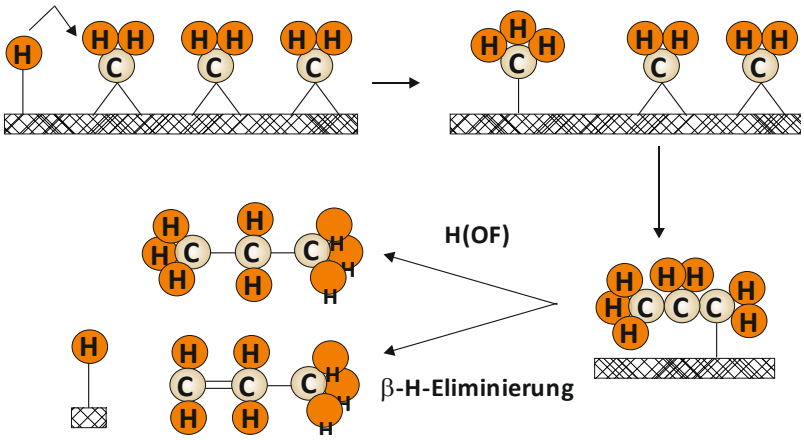


Abb. 173: Bildung von Ketten auf der Katalysatoroberfläche

Es ist aber auch denkbar, dass die Hydrierung (das Aufnehmen von H) nicht abläuft sondern dass sich mehrere CH_2-Gruppen zusammenschließen und Ketten bilden.
So entstehen langkettige Kohlenwasserstoffe, die entweder durch eine Abspaltung von Wasserstoff oder durch Aufnahme von Oberflächen Wasserstoffatomen zu freien Alkanen oder Alkenen reagieren.

Zusammengefasst kann man folgende Gleichung formulieren:

$$n\,CO + (2n+1)\,H_2 \xrightarrow{Kat} C_nH_{2n+2} + n\,H_2O$$

Abb. 174: Gesamtgleichung der Fischer-Tropsch-Synthese

Zu bedenken ist allerdings, dass bei der Herstellung von synthetischen Benzin ebenfalls auf fossile Brennstoffe zurückgegriffen werden muss, die früher oder später auch ausgehen werden. Vielleicht handelt es sich also bei der Fischer-Tropsch-Synthese nur um eine Verlagerung des Problems.

Unkonventionelle Ölquellen

Unter unkonventionellem Öl versteht man vor allem Ölsande, Ölschiefer und Tiefseeöl.
Bei Ölsanden handelt es sich um eine Mischung aus Ton, Sand, Wasser und Kohlenwasserstoffen. Die Ölsande machen zwei Drittel der weltweiten Ölvorkommen aus. Davon lagern 1,8 Mio. Barrel in Venezuela, ein Drittel in Kanada und weniger große Vorkommen in Saudi-Arabien und dem Nahen Osten. Auf den ersten Blick klingen diese Mengen natürlich verlockend, aber der Abbau der Sande ist sehr umweltschädlich. Zunächst muss die oberste Erdschicht abgetragen werden, damit anschließend heißes Wasser in die Sande gepresst werden kann. Der so entstandene Schlamm wird in Extraktionsanlagen gepumpt. Die sich oben absetzendend Kohlenwasserstoffe können anschließen abgeschöpft werden. Diese Öle sind meist sehr schwer und dickflüssig, so dass sie vor dem Transport via Pipelines chemisch gespalten oder mit Petroleum versetzt werden müssen. Übrig

bleibt eine riesige Menge Abraum, pro Tonne Rohöl schätzungsweise 25 Tonnen. Die Landschaft erinnert danach an einen Kohletagebau.
Bei Ölschiefer handelt es sich um ein Sedimentgestein, das Schweröl enthält. Um Öl aus dem Gestein zu gewinnen, muss es auf 500°C erhitzt werden, dann werden die Kohlenwasserstoffe herausgepresst. Eine andere Möglichkeit ist, den Ölschiefer zu verbrennen. Da allerdings viel Energie in diesen Prozess gesteckt werden muss, sind die Energiebilanz und die Ausbeuten einfach zu schlecht. Außerdem fallen in diesem Prozess giftige Abfallstoffe an.
Tiefseeöle lagern unter dem Meer, oft in tausenden Metern Tiefe. Die Technik lässt es mittlerweile zu, auch sehr tiefliegende Ölquellen anzubohren. Tiefseebohrungen erfordern jedoch einen großen Aufwand und hohe Kosten. Der Betrieb einer Plattform kostet eine Mineralölfirma pro Tag etwa 600.000 Dollar. Damit sich dieser Preis bezahlt macht, muss der Ölpreis hoch genug sein. Was passiert, wenn eine Ölplattform ihren Dienst verweigert, erlebten wir 2010 in Hinblick auf die Ölkatastrophe im Golf von Mexiko.

Was wenn nicht Öl?

Die Fischer-Tropsch-Synthese liefert Synthesebenzin allerdings aus fossilen Brennstoffen. Unkonventionelle Öle können nur mit großem technischem Aufwand und unter schlechten ökologischen und ökonomischen Bedingung gefördert werden. Bleibt die Frage offen, ob es sich überhaupt lohnt, weiter auf Öl zu setzten. Sicher kann man davon ausgehen, dass die technische Forschung es in den nächsten Jahren möglich machen wird, Erdöl aus Schiefer effizienter abzubauen, Ölsande ökologischer auszubeuten oder noch tiefer liegende Tiefseequellen anzubohren. Aber eben diese Forschung wird wohl Milliarden verschlingen. Also in Öl investieren oder in alternative Ideen? Diese Fragen sollen die SchülerInnen kontrovers diskutieren, immerhin sind sie es, die in Zukunft kein Öl mehr haben werden.

Sehen – Urteilen - Handeln

Unter „Sehen-Urteilen-Handeln“ versteht man einen methodischen Dreischritt, der in Hinsicht auf die verschiedensten Problematiken durchlaufen werden kann.[5]

Abb. 175: Methodischer Dreischritt

Zunächst wird das Problem in all seinen Facetten wahrgenommen:

- Welches Problem besteht?
- Welche Fakten helfen zum Verständnis des Problems?
- Wie wichtig ist das Problem?
- Welche Ursachen hat das Problem?
- Welche Folgen hat das Problem?
- Wer ist von dem Problem betroffen?
- Wer hat dadurch Vor- und Nachteile davon?
- ….

Dann werden die Fakten beurteilt:

- Wie sind meine eigenen Vorstellungen von Gerechtigkeit in diesem Fall?
- Welche Werte liegen meiner Beurteilung zu Grunde?
- Wie wird in der Tradition mit diesem Problem umgegangen?
- Welche Ziele folgen aus meinem Werten und was bedeutet das in Hinsicht auf die Beurteilung des Problems?
- Welche Ziele haben Vorrang oder sind hinten angestellt?
- Welche Kosten und Nutzen hätte die Verwirklichung der Ziele?
- …

Schließlich wird das Problem auf eine Handlungsebene gehoben:

- Welche Handlungsalternativen gibt es?
- Welche Folgen haben diese Handlungsalternativen?
- Welche Alternative wäre hat am wenigsten negative Folgen?
- Welche Wirkung hätte die Befolgung des eigenen Urteils?
- Was muss in welcher Reihenfolge getan werden?
- Wer ist zuständig oder kann als Experte herangezogen werden?
- Wer kann bei der Verwirklichung des Ziels helfen?
- Sind Widerstände zu erwarten?
- Wie kann zu einer Alternativhandlung motiviert werden?
- …

Die hier genannten Fragen können zur Strukturierung des Denkprozesses beitragen. Nach jedem Abschnitt kann zum Beispiel ein Fazit formuliert werden. Außerdem kann dieser Dreischritt auf die verschiedensten umweltethischen Probleme auch in Hinsicht auf die Energieproblematik angewendet werden. Selbst, wenn diese Methode auf ein bestimmtes Problem hin angewendet wird, sind viele verschiedene Ergebnisse zu erwarten.

4.1.5.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Synthetisches Öl“

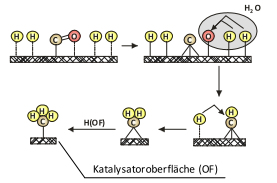
Arbeitsaufträge

Zukunftsmusik

Die SchülerInnen bilden vier große Gruppen und diskutieren in den Gruppen, was man tun soll, wenn das Erdöl ausgeht: Kohle reicht noch lang genug? Alternative Energien, die sehr kostspielig sind? Öl besser aufteilen? Mehr Kernkraft? Weniger verbrauchen? In den Gruppen wird eine Präsentationsart gewählt (Folien, Tafel, Poster…). Während eine Gruppe ihr Zukunftskonzept vorstellt, sollen sie ihre MitschülerInnen davon überzeugen.

A9: Öl aus dem Labor – „Die Fischer-Tropsch-Synthese“

Die folgende Abbildung zeigt den ersten Schritt der Fischer-Tropsch-Synthese, die auch Benzin-Synthese genannt wird. Beschreibe kurz, was hier passiert!



1.Schritt: _____
_____
_____
2. Schritt: _____
_____
_____
3. Schritt: _____
_____
_____
4. Schritt: _____
_____
_____

Nachdem einzelne CH_3-Gruppen auf der Oberfläche gebildet wurden, können sie sich zu Ketten zusammenschließen. Zeichne zu den im Folgenden beschriebenen Schritten eine Skizze wie in der vorherigen Aufgabe!

1. **Schritt:** Einzelne CH_2-Gruppen und eine endständige CH_3-Gruppe ordnen sich nebeneinander an.
2. **Schritt:** Die Kohlenstoffatome bilden Bindungen untereinander aus und bilden eine Kette. Da jedes Kohlenstoffatom nur vier Bindungen ausbilden kann, müssen Bindungen zur Oberfläche gelöst werden. Schließlich ist die Kette nur noch an einer Stelle mit der Oberfläche verbunden.
3. **Schritt:** Entweder die Kette reagiert mit einem Wasserstoff-Atom der Oberfläche zu einem Alkan oder ein Wasserstoffatom wird abgespalten und es entsteht ein Alken.

Diskutiere mit deinem Nachbarn folgende Frage:
Findest du es sinnvoll Öl synthetisch im Labor herzustellen und dabei auf Kohle als Ausgangsstoff zurück zu greifen!

4.1.5.8 Literaturempfehlung zum Thema „Erdöl“

[A] Baerns, M., Behr, A., Brehm, A., u.A., Technische Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.

[B] Brüning, B.: Philosophieren in der Sekundarstufe, Beltz Verlag, Weinheim, Basel, Berlin, 2003.

[C] Dow, K., Downing, T. E.: Weltatlas des Klimawandels, Dr. Götze Land & Karten und EVA, Hamburg, 2007.

[D] Jope, A., Erdöl und Erdgas. In: Müller-Temme, E. (Hg.): Geographische Zeitfragen, Hirschgraben, 1981.
[E] Lienkamp, A.: Klimawandel und Gerechtigkeit, Ferdinand Schöningh Verlag, Paderborn, 2009.
[F] Lübbe, H. (Hg.): Fortschritt der Technik, R. v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1987.
[G] Petermann, J. (Hg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert, 3. Auflage, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.
[H] Pfeifer, V.: Ethisch argumentieren, Schöningh, Braunschweig, Paderborn, Darmstadt, 2009.
[I] Richter, D.; Energie und Umwelt, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 1986.
[J] Riedel, E. (Hg.): Moderne Anorganische Chemie, 2. Auflage, de Gruyter, Berlin, 2003.
[K] Rubner, J.; Das Energie-Dilemma, Pantheon, München, 2007.
[L] RWE AG (Hg.): Energie! Entdecke was die Welt bewegt!, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.
[M] Quaschning, V., Erneuerbare Energien und Klimaschutz, 2. Auflage, Hanser, München, 2010.

4.1.6 Unterrichtsmaterial: Energie und Gesellschaft

4.1.6.1 Kompetenzerwerb

Energie ist sicherlich nicht nur ein naturwissenschaftlich oder ethisch relevantes Thema, sondern es tangiert fast jede Bereiche der Gesellschaft und des gemeinschaftlichen Lebens. Wo berührt uns also die Energie-Problematik, außer wenn es um unsere Finanzen geht? Abgesehen davon, dass Energiepreise steigen, hat die Umstellung der Maßnahmen zur Energiegewinnung noch weitere Auswirkungen. Auf der einen Seite beeinflusst Energie unser Klima und gibt den Menschen Arbeit. Auf der anderen Seite sind viele Arbeitsplätze durch die Energiekrise bedroht. Führt also die Verbesserung des Klimas zur Verschlechterung der Arbeitssituation?

Ein weiterer gesellschaftlich wichtiger Gesichtspunkt sind die steigenden Kosten für Energie, die alternativ erzeugt wird. Schlechte Wirkungsgrade lassen so manche Technik unökonomisch erscheinen. Biodiesel zum Beispiel kann nur so günstig verkauft werden, weil er staatlich subventioniert wird, sonst müsste er zu Preisen verkauft werden, welche die des klassischen Diesels übersteigen. Momentan werden neue Energien an allen Ecken und Enden gefördert, was natürlich vor allem in Hinsicht auf die begrenzten klassischen Ressourcen sinnvoll erscheint. Tatsächlich gewinnt Deutschland den größten Teil seiner Energie, nämlich 83%, aus fossilen Energieträgern. Es ist fraglich, ob erneuerbare Energie immer noch so stark subventioniert werden können, wenn sie diese gesamten 83% ersetzen sollen. Wird Strom dann also zum Luxusprodukt? Werden sich nur noch die Reichen Strom leisten können und wie reich muss eine Familie sein, um weiterhin Lampen brennen zu lassen?

Wie man sieht, sind die gesellschaftlichen Aspekte des Energie-Problems durchaus ethisch zu durchdenken. Auf der anderen Seite liegen natürlich naturwissenschaftliche Daten zugrunde.

Schlechter Wirkungsgrad- was heißt das? Was ist Treibhausgas, was passiert eigentlich in so einem Kohlekraftwerk? Im interdisziplinären Kontext ist das Thema der Energie-Gesellschaft von großer Bedeutung.
Auch im Schulkontext eignet sich die fächerübergreifende Betrachtung von Energie und deren gesellschaftlichen Folgen. Treibhauseffekt – das hat jeder Schüler schon gehört. Die Verknüpfung zur Energie und zum verantwortlichen Umgang mit der Umwelt schließt sich aber nicht von selbst.

Voraussetzungen

Grundsätzlich müssen die SchülerInnen über kein klar definiertes Vorwissen verfügen. Im naturwissenschaftlichen Bereich wird davon ausgegangen, dass die SchülerInnen mit dem Begriff des Atoms vertraut sind und wissen, was man unter einer chemischen Verbindung versteht. Alle weiteren Details können mit Hilfe des Materials abgedeckt werden.

Lernziele

Teil 1: Was hat Energie mit dem Treibhauseffekt zu tun?

Um den Bogen zwischen Energie und Treibhauseffekt zu spannen, ist es zunächst notwendig auf die naturwissenschaftlichen Hintergründe einzugehen bevor ein Schwerpunkt auf umweltrelevante Aspekte und die Entwicklung des Klimas gelegt werden kann. Letztendlich steht das Klima als öffentliches Gut im Vordergrund. In diesem Kapitel stehen folgende Lernziele primär im Fokus.
Die SchülerInnen sollen:

- Treibhausgase nennen können.
- die Wirkung von Treibhausgasen in der Atmosphäre erklären können.
- eine Verbindung zwischen Treibhausgasen und der Energiegewinnung herstellen und diese Verbindung bewerten können.
- die Entwicklung des Klimawandels in groben Zügen wiedergeben können.
- die eigene CO_2-Bilanz interpretieren können.
- begründen können, warum Umweltschutz für die Gesellschaft notwendig ist.
- formulieren können, was mit dem Recht auf Gesundheit gemeint ist.
- die Begriff Axiologie erklären und auf die Umweltethik beziehen können.

Teil 2: Die Kohleindustrie

Millionen Menschen arbeiten im Kohlebergbau. Trotzdem hat die Bundesregierung beschlossen bis zum Jahr 2018 aus der Steinkohleförderung auszusteigen. Dadurch werden nicht nur viele Menschen plötzlich ohne Arbeit da stehen. Experten sagen voraus, das Deutschland in Zukunft

unter Umständen Probleme mit seiner Energieversorgung bekommen könnte, wenn es dem Kohlebergbau abschwört.

In den Medien wird der Kohlebergbau sehr polarisiert dargestellt: nämlich als Umweltsünder Nummer ein. Und tatsächlich sind die Kohlebergwerke auch diejenigen, die das meiste CO_2 ausstoßen. Fragt sich, ob es eine Möglichkeit wäre, einfach auszusteigen aus dem Geschäft mit dem schwarzen Gold. Nur selten werden die Vorteile der Kohle und ihre immense Wichtigkeit für den derzeitigen Energiemarkt betont. Der Kohlebergbau tangiert also nicht nur die technischen Grundlagen, sondern sowohl den Umweltschutz als auch gesellschaftlich-politische Belange.

Die SchülerInnen sollen nach dieser Einheit:

- wiedergeben können wie Kohle entstand und was Kohle eigentlich ist.
- Gründe nennen und in eigenen Worten erklären können, warum ein Ausstieg aus der Kohleindustrie sinnvoll ist.
- Gründe nennen und in eignen Worten erklären können, warum es nicht sinnvoll ist, aus der Kohleindustrie auszusteigen.
- die verschiedenen Gründe gegeneinander abwägen und eine eigene Meinung formulieren können.
- verschiedene Gründe für Arbeitslosigkeit nennen und diese auf den Kohlbergbau beziehen können.
- verschiedene Arten der Gerechtigkeit erklären und diese auf das Thema Arbeitslosigkeit beziehen können.

Teil 3: Wird Strom zum Luxusgut?

Nicht nur Strom, sondern Energie an sich ist vielleicht auf dem Weg zum Luxusprodukt zu werden. Je nachdem welches Land man ins Auge fasst, ist Energie schon purer Luxus.

Die Gründe und Auswirkungen sind sehr unterschiedlich und hängen von verschiedenen Faktoren ab.Die primären Lernziele dieses Kapitels sind folgende:

Die SchülerInnnen sollen:

- die Gründe erklären können, warum Energie kostbar ist.
- verschiedene Auswirkungen der Energieknappheit für Entwicklungsländer nennen können.
- in eigenen Worten formulieren können, welchen Wert Energie für sie persönlich hat.
- die Begriffe Autonomie und Integration in Bezug auf die Energiedebatte erklären können.
- den Begriff des Gemeinguts in eigenen Worten definieren und einen Zusammenhang zum Energieproblem herstellen können.

4.1.6.2 Teil 1: Was hat Energie mit dem Treibhauseffekt zu tun?

Treibhausgase

In diesem Teil wird auf die naturwissenschaftlichen Hintergründe des Treibhauseffekts eingegangen. Was sind also Treibhausgase, wie wirken sie und wo kommen sie her?

Was sind Treibhausgase?

Unter Treibhausgasen versteht man Gase, die sich in der Atmosphäre der Erde befinden und sich direkt auf unser Klima auswirken. Natürliche Treibhausgase sind Wasser (H_2O) und Kohlenstoffdioxid (CO_2), deren Molekülstrukturen in der folgenden Abbildung gezeigt wird.

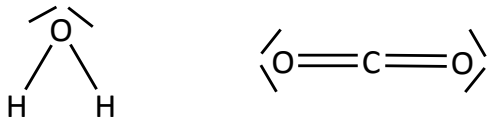


Abb. 176: Molekülstruktur von H_2O und CO_2

Wasser tritt in der Atmosphäre in Form von Wolken auf. CO_2 stammt aus dem sogenannten Kohlenstoffkreislauf der Erde. Dieser Zyklus beschreibt wie die Umwandlung von kohlenstoffhaltigen Verbindungen auf der Erde funktioniert. Durch Tiere, Pflanzen, den Menschen usw. wird CO_2 in die Atmosphäre emittiert. Dadurch, dass durch Pflanzen und Plankton aus dem Meer wieder CO_2 absorbiert und somit aus der Atmosphäre entfernt wird, bleibt der CO_2-Gehalt insgesamt ungefähr gleich. Der natürliche Kohlenstoffgehalt der Luft beträgt in etwa $720 \cdot 10^9$ t Kohlenstoff. Allerdings wird dieser Anteil an Atmosphären-Kohlenstoff durch den Menschen noch vergrößert, was den Kohlenstoffzyklus aus dem Gleichgewicht bringt, da dieser nicht mehr ausreichend von den Pflanzen ausgeglichen werden kann. Treibhausgase, die vom Menschen erzeugt werden, nennt man auch anthropogene Treibhausgase (vom griech. Anthropos, was Mensch bedeutet).

Abgesehen von CO_2 gehören allerdings noch andere Spurengase zu den Treibhausgasen, wie folgende Abbildung zeigt.

CO_2 macht allerdings bei weiten den größten Teil der Treibhausgase aus. Lachgas entsteht vor allem durch stickstoffhaltige Dünger. Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) entstehen oft bei chemischen Prozessen. Außerdem wirkt troposphärisches Ozon klimaaktiv. Dabei handelt es sich um Ozon, dass nicht der Ozonschicht angehört.

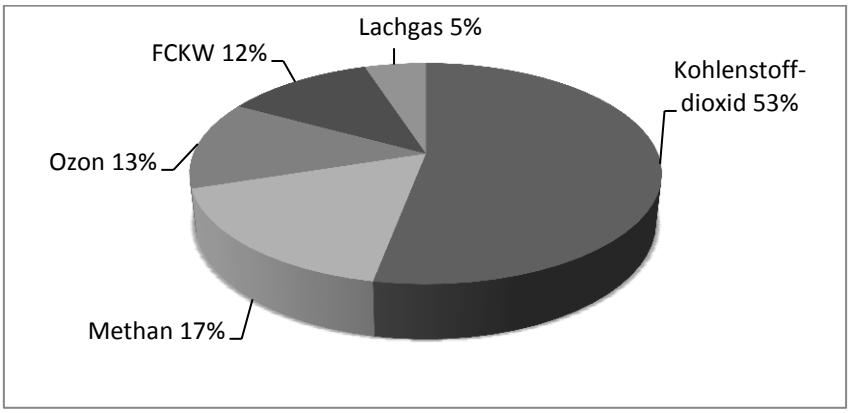


Abb. 177: Treibhausgase

Wie wirken Treibhausgase in der Atmosphäre?

Unsere Erde wird von der Sonne erwärmt, die etwa eine Temperatur von 5400°C hat. Die Sonnenstrahlen reichen bis auf die Erde und werden dort zum großen Teil (70%) in Wärme umgewandelt und als sogenannte terrestrische Strahlung wieder abgegeben. 30% der Sonnenstrahlen werden als sichtbares Licht wieder in den Weltraum zurückgeworfen, diesen Anteil nennt man Albedo. Obwohl zwei verschiedene Arten von Strahlung wieder zurück in den Weltraum geworfen werden, muss trotzdem ein Strahlungsgleichgewicht herrschen. Die Energie der eingehenden Sonnenstrahlung muss gleich sein der Energie der ausgehenden terrestrischen Strahlung zusammen mit der Albedo-Energie. Anderenfalls würde sich die Erde ständig erwärmen bzw. abkühlen. Theoretisch kann man berechnen, welche Temperatur die Erde im Strahlungsgleichgewicht haben muss. Die Berechnungen ergeben in dieser Hinsicht -19°C Oberflächentemperatur im Durchschnitt. Allerdings beträgt die Oberflächentemperatur der Erde im Durchritt 15°C. Die Differenz von 33°C resultiert aus der Atmosphäre. Spurengase in der Atmosphäre absorbieren die reflektierte terrestrische Strahlung und speichern sie in Form von Wärme, die sie auch als Wärmestrahlung wieder Richtung Erde emittieren können.

Warum aber kann die Sonnenstrahlung ungehindert durch die Treibhausgase treten, während die terrestrische Strahlung von ihnen aufgehalten wird? Durch die Umwandlung von Lichtstrahlung der Sonne in Wärmestrahlung verändert sich die Wellenlänge des Lichts. Sichtbares Licht hat eine Wellenlänge von 380 bis 780 nm. Bei der terrestrischen Wärmestrahlung handelt es sich allerdings um IR-Strahlung, die langwelliger ist. Diese Strahlung kann von Treibhausgasen in der Atmosphäre absorbiert werden.

Durch die sich anstauende Wärme, die durch die Absorption von terrestrischer Strahlung durch Treibhausgase entsteht, verändert sich die mittlere Temperatur der Erde dann, wenn der Kohlenstoffzyklus aus dem Gleichgewicht gerät, und mehr Kohlenstoff in der Luft vorhanden ist als er es von Natur her sein sollte. Sprich: Kohlenstoff ist immer in der Luft, allerdings wird die Menge

an Kohlenstoff durch anthropomorphe Quellen derart erhöht, dass die mittlere Temperatur der Erde über 15°C steigt.
Wie sehr ein Gas Einfluss auf den Treibhauseffekt hat, hängt zum einen von seiner Konzentration und zum anderen von seiner Fähigkeit ab, IR-Strahlung der Erde zu absorbieren. Unterschiedliche Moleküle können aufgrund ihrer unterschiedlichen Fähigkeiten IR-Strahlung auch verscheiden gut absorbieren. Der GWP-Wert (Global Warming Potention) gibt dabei an, wie viel klimaaktiver ein Stoff im Vergleich zur selben Masse CO_2 ist. Folgende Tabelle liefert einen ungefähren Überblick.

Tab. 19: GWP Werte verschiedener Verbindungen[197]

Stoff	GWP
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	300
CCl_4 (FCKW)	4600

Im Verlauf von 12 Jahren wirkt also Methan 21 mal klimaaktiver als CO_2. Im Verlauf von 45 Jahren ist CCl_4, ein Fluorchlorkohlenwasserstoff, sogar 4600 mal klimaaktiver. Allerdings ist die schiere Masse an CO_2 nicht zu unterschätzen.

Wo kommen Treibhausgase her?

CO_2 ist das Treibhausgas, welches das Klima wegen seiner immer mehr steigenden Konzentration in der Atmosphäre am stärksten Beeinflusst und den Kohlenstoffzyklus aus dem Gelichgewicht rückt. Aber wo kommt das ganze CO_2 eigentlich her?
Zum einen gibt es natürliche CO_2-Quellen. Wir Menschen atmen beispielsweise CO_2 aus. CO_2 ist beim Menschen das Verbrennungsprodukt der Atmung.
Der Wert an CO_2 in der Luft steigt aber nicht aus natürlichen Ursachen, sondern durch anthropogene Quellen. Vor allem bei Verbrennungsprozessen fällt eine Menge CO_2 an. Um nutzbare Energie zu gewinnen, verwenden die Menschen sogenannte Primärenergiequellen. Das sind Energiequellen, die noch nicht aufgearbeitet und somit noch nicht nutzbar sind. Um zum Beispiel ein Stück Braunkohle in nutzbare Energie umzuwandeln, wird sie verbrannt. Durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl, Erdgas aber auch durch die Verbrennung von Biomasse entsteht CO_2. Je mehr Energie die Menschheit benötigt, desto mehr wird verbrannt. Da der Energiebedarf in den letzten Jahren rasant gestiegen ist, wird demnach auch immer mehr CO_2 ausgestoßen. Erschwerend kommen Rodungen von ganzen Wäldern hinzu. Bäume nehmen CO_2 aus der Luft auf und verstoffwechseln es zu Sauerstoff. Der Rückgang der Wälder erhöht die Menge an CO_2, die in der Atmosphäre verbleibt.

Der Klimawandel und seine Auswirkungen

Der Treibhauseffekt ist also wichtig für unser Klima. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre die mittlere Temperatur der Erde 33°C kälter. Allerdings verursacht der Menschen durch anthropomorphen Ausstoß der Treibhausgase einen Anstieg der mittleren Temperatur. Die folgende Tabelle bietet einen Überblick über die Länder mit dem höchsten CO_2 Ausstoß.

Tab. 20: CO_2-Ausstoß verschiedener Länder[198]

Land	CO_2 [Mio. t]	Einwohner [Mio.]	CO_2 pro Einwohner [t]
1. USA	5697	299	19
2. CHN	5606	1312	4,27
3. RUS	1587	143	11,14
4. IND	1250	1110	1,13
5. JPN	1213	128	9,49
6. GE	823	82	10
7. CAN	539	33	16,52
8. GB	536	61	8,86
9. KOR	476	48	9,86
10. ITA	448	59	7,61
133.MOZ	2	20	0,08

Die Werte beziehen sich auf das Jahr 2003. Obwohl Deutschland „nur“ auf Platz sechs rangiert, stößt die deutsche Bevölkerung im Vergleich mit vielen anderen Staaten noch immer eine Menge CO_2 aus. Dieser Ausstoß ist insgesamt noch nicht rückläufig, was an dem immer größer werdenden Energiebedarf liegt. Vergleicht man die Emissionswerte aus 1750, also zur Zeit der industriellen Revolution, mit den Emissionswerten aus 2003, so zeigt sich ein deutliches Wachstum wie die folgende Abbildung veranschaulicht:

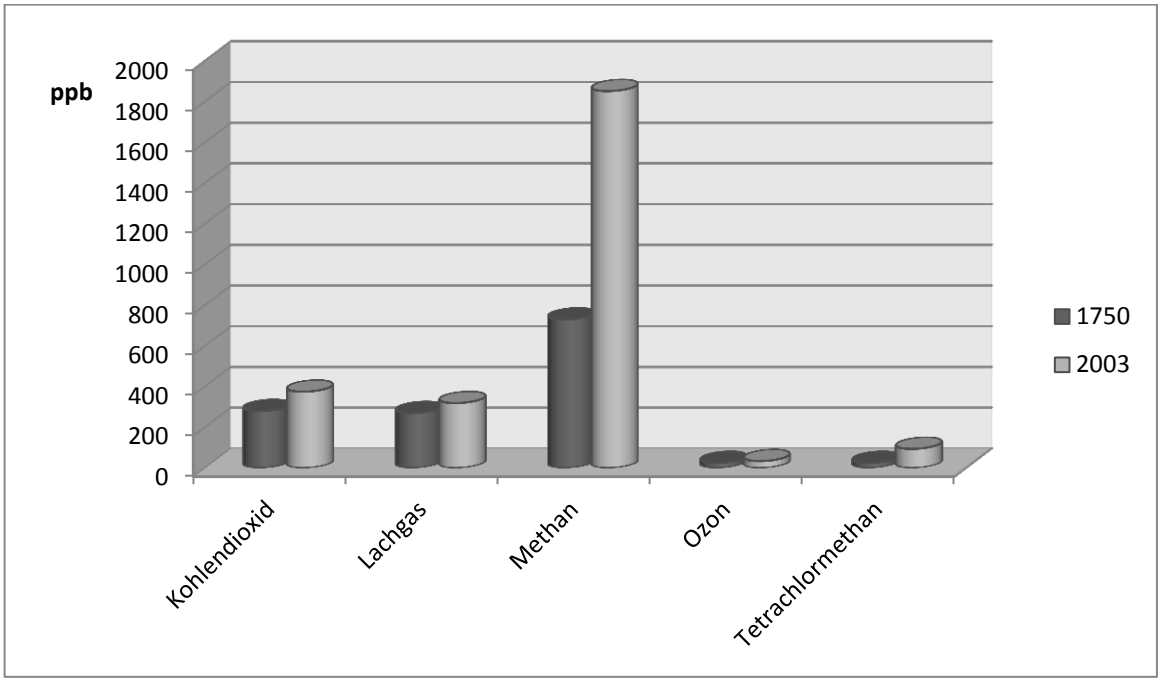


Abb. 178: Emissionswerte 1750 und 2003 (Werte in ppb)[193]

Abbildung 178 beinhaltet allerdings nicht nur die anthropomorphen Quellen, sondern den Gesamtgehalt eines Treibhausgases in der Atmosphäre. Die Einheit ppb (parts per billion) beschreibt wie viele Teile Treibhausgas unter einer Milliarde Teile zu finden sind.

Wie man sieht, ist der Anteil an Methan am höchsten. Wie ist das zu erklären, wenn man diese Erkenntnis mit Tabelle 19 vergleicht? Tabelle 19 veranschaulicht lediglich den anthropomorphen Anteil der Emission. Im Gesamtzusammenhang macht CO_2 allerdings in etwa so viel aus wie Lachgas.

Davon abgesehen müssen die Verweilzeiten der Gase hinzugezogen werden, um einen umfassenden Überblick zu erhalten. Abbildung 179 zeigt die Verweilzeiten graphisch:

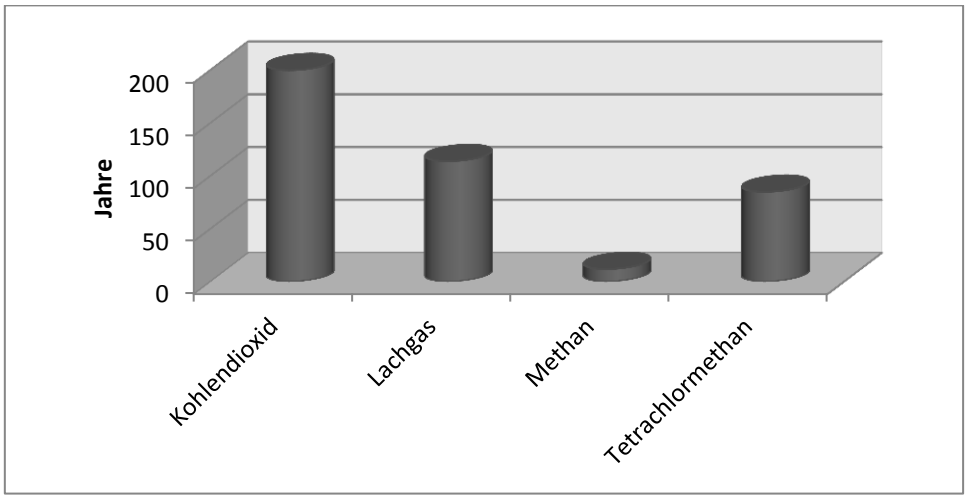


Abb. 179: Verweilzeiten (Angaben in Jahren)[193]

Obwohl so große Mengen Methan in der Atmosphäre enthalten sind, wird es am schnellsten abgebaut. Das heißt, auch wenn mehr Methan produziert wird, sammelt es sich doch nicht so schnell in der Atmosphäre an wie etwa CO_2.

Die Erwärmung des Klimas, also der Klimawandel, steht im direkten Verhältnis zur ansteigenden Menge an Treibhausgas in der Atmosphäre. Zusammen mit einer steigenden Sonnenaktivität (die jedoch nur einen kleinen Bestandteil ausmacht), verursachen die Treibhausgase eine Erwärmung der Atmosphäre. Dieser Effekt wird durch einen abkühlenden Effekt verringert, der zum größten Teil durch vermehrte Wolkenbildung aufgrund von Aerosolen in der Luft hervorgerufen wird.

Klimawandel und ich

Es ist unbestreitbar, dass jeder einzelne seinen Teil zum Treibhauseffekt beisteuert. Fraglich ist nur, ob ein einzelner Mensch mehr Treibhausgas verursacht, als es für den natürlichen Treibhauseffekt notwendig und gut ist.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen direkter und indirekter CO_2-Emission.

Zu direkter CO_2-Emission gehören:

- Strom
- Heizen
- Autofahren
- Fliegen
- Unter indirekten Emissionsquellen fallen:
- Herstellung von Nahrungsmitteln
- Öffentlicher Konsum (Schulen, Feuer-wehr, Polizei, …)
- Herstellung von Kleidung
- Herstellung von Möbeln
- Herstellung von Maschinen und Geräten
- Bauen von Wohngebäuden
- Papierherstellung

Tab. 21: Unterschiede in der Art der Heizung[198]

Art der Heizung	kg CO_2/kWh
elektrisch	0,616
Erdgas	0,2
Erdöl	0,28
Alte Heizung	0,25 bis 0,35
Biomasse	Nur indirekt bei Transport und Herstellung
Holzpellets	0,06

Die direkte CO_2-Emission lässt sich recht zuverlässig ermitteln. In Deutschland erzeugen jede Kilowattstunde Strom 0,616 kg CO_2. Beim Heizen wird es schon schwieriger und hängt von der Art der Heizung ab wie Tabelle 21 zeigt.

Beim Autofahren kommt es darauf an, wie viel das Fahrzeug verbraucht und ob das Auto mit Diesel oder Benzin fährt. Abbildung 180 veranschaulicht wie die Spritemission berechnet werden kann.

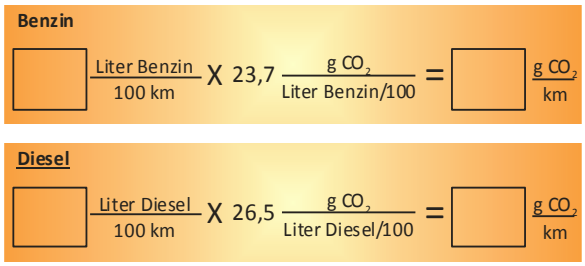


Abb. 180: Berechnung der Emission durch Autos

Um die genaue persönliche CO_2 Bilanz zu errechnen, müssten den SchülerInnen verschiedene Stromabrechnungen, Heizkostenabrechnungen sowie weitere detaillierte Informationen vorliegen. Da man nicht davon ausgehen kann, dass jeder Schüler diese Unterlagen zur Verfügung hat, zeigt die nächste Tabelle den durchschnittlichen Ausstoß eines deutschen Bürgers:

Tab. 22: CO_2-Quellen[198]

Quelle	CO_2 [kg] / a
Strom	1050
Heizen	2000
PKW	1210
Öffentliche Verkehrsmittel	110
Fliegen	750

Vergleicht man direkten und indirekten Konsum, so stellt man fest, dass der indirekte Konsum in der Regel höher ist. Insgesamt emittiert ein Deutscher privat 2700 kg CO_2 pro Jahr. Die Jahresbilanz für den indirekten Verbrauch beläuft sich auf 2840 kg CO_2, davon sind 1240 kg öffentlicher Konsum und 1600 kg für die Ernährung.
Je nachdem wie aufwendig ein Produkt verarbeitet werden musste, erhöht sich die Menge an CO_2, die seine Bereitstellung verursacht. Folgende Abbildung bietet einen guten Überblick.

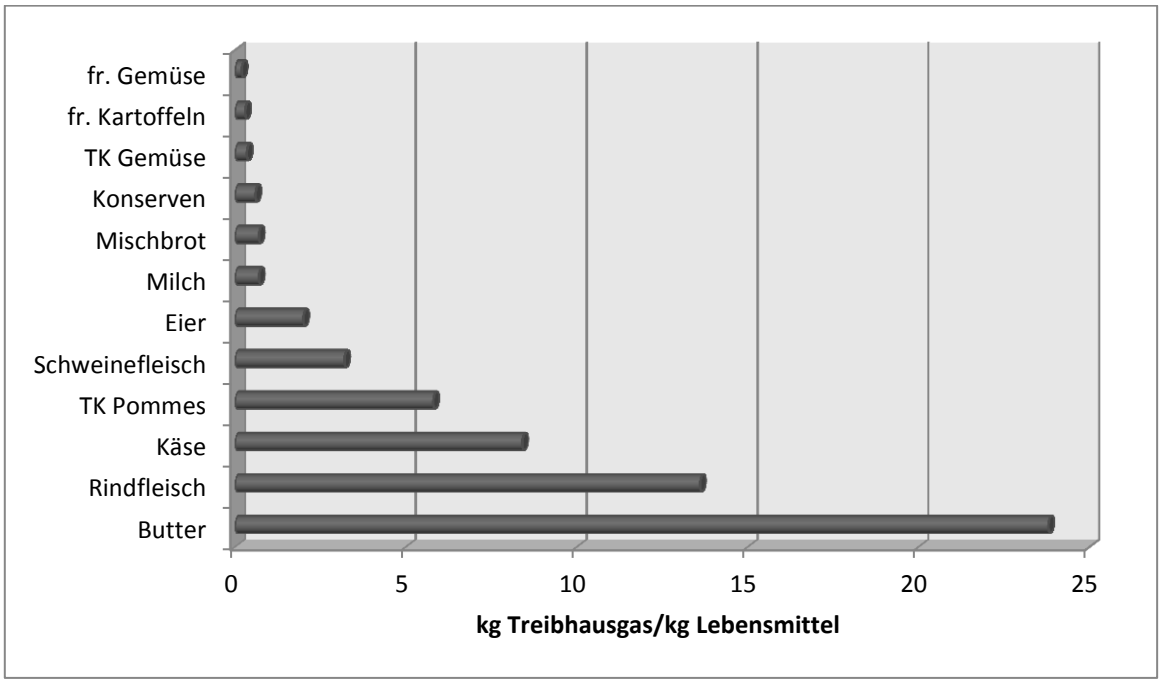


Abb. 181: CO2-Emission durch Lebensmittel[198]

Die Menge an CO_2, die ein Mensch indirekt durch die Herstellung seiner Lebensmittel ausstößt, ist recht unterschiedlich und hängt vom Alter sowie vom Geschlecht ab. Durch bewusste Ernährung kann man die CO_2 Menge, die durch die Ernährung frei wird um bis zu 30% verringern. Ernährt man sich stattdessen nur von eingefrorenen Produkten, Konserven oder anderen aufwendig verbreiteten Produkten, kann sich der CO_2-Ausstoß verdoppeln.

Klimawandel und Gesellschaft

Das Klima ist kein privates Gut, auf das man nur Zugriff hat, wenn man es kauft oder bietet, sondern es ist Allgemeingut oder auch öffentliches Gut. Darunter versteht man ein Gut, das von allen genossen werden kann, ohne dass dadurch ein anderer weniger davon hat und von dem im Idealfall auch niemand ausgeschlossen werden kann. Aber wer trägt die Verantwortung, wenn das Klima allen gehört? In der Regel wird die Verantwortung für die Klimaveränderungen den Politikern aufgebürdet. Sie sollen richten, was das Kollektiv fabriziert hat. Aber der Einzelne kauft weiterhin große Fernseher und Waschmaschinen der Energiesparklasse B. Mittlerweile wird mit CO_2 gehandelt wie mit anderen Waren auch. Die politischen Bemühungen können aber nur den industriellen und gewerblichen CO_2-Ausstoß vermindern, nicht aber den der privaten Haushalte.

Warum aber unbedingt den Klimawandel aufhalten? Ein paar Grad mehr oder weniger machen für das menschliche Wohlbefinden kaum einen Unterschied und immerhin ist es unsere Erde, die wir gestalten können wie wir es wünschen. Oder nicht?

Allerdings sind die Auswirkungen des Klimawandels schon weithin spürbar. Vor allem das schmelzende Eis an den Polkappen und der damit verbundene steigende Meeresspiegel geben zu

denken. Nicht nur in fernen, unbewohnten Gebieten der Pole steigt der Meeresspiegel, sondern auch an den Küsten der europäischen Länder. Das Meer verdrängt die Menschen von der Küste. Zudem kommen extreme Niederschläge auf der einen Seite und extreme Dürre auf der anderen Seite hinzu. Wetterextreme beklagen wir jetzt schon. Kaum zu glauben, dass es noch schlimmer werden wird. Das Naheliegendste wurde allerdings bis hier her noch gar nicht zur Sprache gebracht, nämlich das durch die Luftverschmutzung vermehrte Auftreten von Krankheiten bis hin zum Artensterben.

Allgemein kann man einige anthropozentrische Gründe zum Umweltschutz wie folgt formulieren:

- Ökologische Lebensgrundlagen müssen gesichert werden.
- Viele Branchen (z.B. Tourismus) hängen von einer intakten Ökologie ab.
- Wissenschaftlich ist es äußerst relevant eine natürliche Vielfalt zu erhalten, um z.B. medizinisch-pharmazeutische Wirkstoffe zu entdecken
- Eine unversehrte Natur hat hohen ästhetischen, erholsamen und religiösen Wert.
- Des Weiteren werden allgemein folgende nicht-anthropozentrischen Ansätze formuliert:
- Pathozentrischer Ansatz: Das Wohl höherer Tiere ist zu wahren.
- Biozentrischer Ansatz: Niedere Tiere und Pflanzen müssen geschützt werden.
- Physiologischer Ansatz: Ökosysteme haben einen eigenen Wert und müssen vor Eingriffen geschützt werden.

<u>Mein Recht auf Gesundheit</u>

Krankheit und Gesundheit lassen sich nicht eindeutig definieren, sondern sind immer an das subjektiven Empfinden gebunden. Jeder der versucht eine Definition festzulegen wird zwangsläufig seine eigenen Erfahrungswerte in Bezug aus sich und sein persönliches Krankheits- oder Gesundheitsempfinden mit einbringen.

Allgemein unterscheidet man in Hinsicht auf Krankheit zwei Kategorien:

- Illness
    - Subjektive Beeinträchtigung
    - Persönlich empfundener Krankheitswert
    - Sich krank fühlen
    - Subjektives Werturteil
- Disease
    - Objektive klinische Funktionsstörung
    - Diagnostisch bedingtes Seinsurteil
    - Analytische und diagnostische Krankheitsbeschreibung

Wenn man also zwischen illness und disease unterscheidet, muss es auch unterschiedliche Faktoren geben, an denen Krankheit „gemessen“ werden kann. Logischer Weise kann die Kategorie disease direkt mit analytischen Messmethoden erfasst werden. Aber nicht immer führt eine hohe Belastung an Schadstoffen und Feinstauben in der Luft zu einer direkt ermittelbaren Krankheit. Eine ständige Belastung wird sich zwangsläufig früher oder später in messbaren Faktoren zeigen. Bis dahin gilt die Krankheit als illness, als sich nicht wohl fühlen. Aber wie schnell diese illness zur disease wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab:[nach 5]

Anthropologischer und Psychosomatischer Aspekt

Psychische Befindlichkeiten wirken sich auf die Wahrnehmung von „krank oder nicht krank“ aus.

Sozialer Kontext

- Der soziale Kontext hat Auswirkung auf die Wahrnehmung von „krank oder nicht krank“.
- Dazu gehört der Status, wahrgenommene Gesundheitschancen, soziale Ausgrenzung, familiärer, ökologischer und ökonomischer Rahmen.

Kulturelle und religiös-weltanschauliche Komponenten

- In verschiedenen kulturellen und religiösen Kontexten wird das Krankheitsbefinden anderes interpretiert, wahrgenommen und bewertet.

Rechtliche Komponente

- Ob gesund oder krank entscheiden vor allem oft das Gesundheitswesen und die Krankenkassen
- Bsp.: Sterilität zählt aus der Sicht der Krankenkassen nicht als Krankheit wird aber subjektiv so empfunden

Es ist also nicht nur abhängig von der subjektiven Einstellung, ob eine Krankheit als illness oder disease eingestuft wird, sondern auch von den oben genannten Faktoren. Eine Feinstaubbelastung wird in dieser Hinsicht wahrscheinlich völlig anderes aufgenommen. Hier einige Beispiele:

- Man kann mit medizinischen Messmethoden veränderte Blutwerte oder eine Belastung der Lunge feststellen (disease).
- Die ständigen Nachrichten in der Zeitung und den Medien über Feinstaub, Luftverschmutzung und den Klimawandel führen dazu, dass man sich schlecht fühlt (psychologisch).
- Weil man viel für seinen Lebensunterhalt arbeiten muss, hat man keine Zeit krank zu sein oder sich krank zu fühlen (sozial).
- Ein Europäer in einer asiatischen Großstadt ist andere Luftverhältnisse gewohnt und fühlt sich kränker als ein Einheimischer (kulturell).
- Hautprobleme durch die hohe Feinstaubbelastung können persönlich als Krankheit aufgefasst werden, aber von der Krankenkasse nicht (rechtlich).

Dass jeder ein Recht auf Gesundheit hat, ist nicht selbstverständlich sondern erst in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts stärker betont worden. Dieses Recht auf Gesundheit bezieht sich auf den Gesundheitsbegriff selbst (im Abgrenzung vom Krankheitsbegriff, der gerade erläutert wurde). Während in der Vergangenheit in der Regel drei Arten des Grundrechts auf Gesundheit geltend waren, nämlich das Abwehr- und Schutzrecht, das Leistungs- und Anspruchsrecht eines Patienten und das Beteiligungsrecht (nach Georg Jellineks), wird das heute Recht auf Gesundheit in Hinsicht auf seine ethisch-rechtliche Deutung in sieben Einzelaspekte differenziert:

1. Gesundheit als öffentliches Gut
    - Gesundheit wird als Voraussetzung für Frieden verstanden.
    - Die Weltgesundheitsorganisation WHO erklärt, dass es die Pflicht jeden Staates ist, sich um Fortschritte im Gesundheitswesen zu bemühen und mit anderen Staaten zu kooperieren.
    - D.h. die Gesundheit liegt in der öffentlichen Verantwortung
2. Gesundheitsschutz des Individuums
    a. Es geht nicht um eine abstrakte Art kollektiver Gesundheit, sondern um die Gesundheit des Individuums
    b. Dabei handelt es sich hauptsächlich darum, dass der Staat dafür Sorge trägt, dass dem Einzelnen keinen Schaden zugefügt wird (negatives Abwehrrecht).
3. Soziales Anspruchsrecht
    a. Im Gegensatz zu Punkt 2 handelt es sich in diesem Fall um ein positives Anspruchsrecht.
    b. Genauer gesagt umfasst dieser Teilaspekt das Recht auf soziale Ansprüche- und Leistungen
4. Nichtdiskiminierung in gesundheitlicher Hinsicht
    a. Jeder hat ein Recht auf Gleichheit.
    b. Entwicklungspolitisch
    c. Dazu gehört die Sicherung gesundheitsgemäßer Lebensbedingungen in globaler Hinsicht.
    d. Ein Kerngebiet hier ist der Umweltschutz.
    e. Klarstellung in internationalen Dokumenten

Um die Punkte 1 bis 5 einzuhalten wird international festgehalten, wie die Begrifflichkeiten zu verstehen sind um eine gemeinsame Basis zu schaffen. Die Regierungen gehen eine rechtsbindende Verpflichtung ein. Dabei handelt es sich nicht nur um eine moralische Verpflichtung. Auf Gesundheitsschutz kann auch geklagt werden.

Axiologie einer Umweltethik

Unter Axiologie versteht man die umweltethische Wertelehre. Zugrunde liegen drei Konzepte:

a) Wertidealismus
   - Werte entstehen als individuelle Ideale.

b) Wertrealismus
   - Man nimmt an, dass die Natur mitsamt Werten objektiv besteht. Diese Werte werden vom Individuum gefunden und angenommen oder abgelehnt.

c) Wertindividualismus
   - Ein Wert wird individuell bewertet. Wird ein Wert von der Mehrheit einer Bevölkerung gleich bewertet, gilt er als angenommener Grundwert.

Die folgende Abbildung stellt die verschiedenen Werte schematisch da:

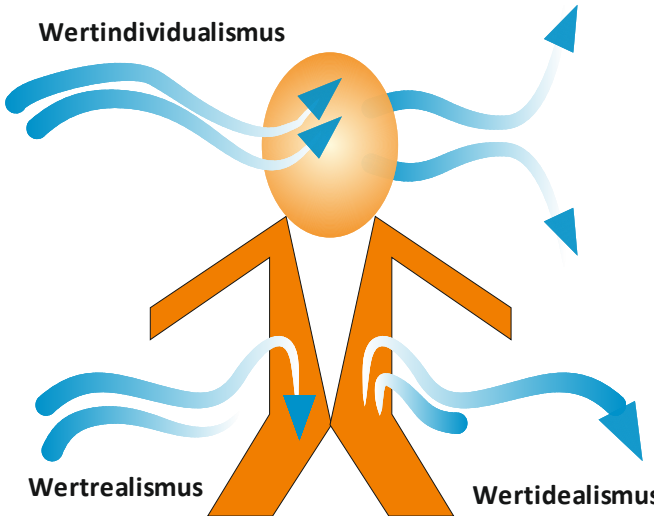


Abb. 182: Verschiedene Wertkategorien

Was bedeutet das für eine Umweltethik? Man hat es also mit drei verschiedenen Formen von Werten zu tun. Dem Wertidealismus liegt zu Grunde, dass ein Individuum aus sich heraus einen Wert festlegt. Ist es also ein persönlicher Wert, energieeffizient zu leben? Will man nur Strom aus alternativen Quellen konsumieren? Tut man alles für den Umweltschutz? Das Einsparen von CO_2 kann sich zum Beispiel so in einem Wert manifestieren und in einem Ideal zu Ausdruck kommen. Dieses Ideal „gehört“ aber dem Individuum und muss für den Nachbarn nicht gelten.

Im Falle des Wertrealismus geht man davon aus, dass die Natur Werte vorgibt, die angenommen werden. Zeigt uns beispielsweise unsere Natur mit der Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur, dass es ein Wert sein sollte, CO_2 zu sparen? Die Interpretation der natürlichen Werte kann individuell unterschiedlich entschieden werden.

Wertindividualismus zeichnet sich dadurch aus, dass Werte reflektiert werden. Durch verschiedenste Einflüsse werden bestimmte Werte innerhalb einer Personengruppe als Grundwerte akzeptiert. Ein Eingeborenen Stamm wird einheitlich den Schutz der Natur als Wert verstehen.

4.1.6.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Was hat Energie mit dem Treibhauseffekt zu tun?“

Einstieg

Brainstorming

Der Reihe nach formuliert jeder Schüler, worin er den Zusammenhang zwischen Energie und Klima sieht.

Definitionsmarkt

Jeder Schüler notiert auf einem Zettel eine Definition. Die Frage lautet: Was ist CO_2? Erlaubt sind maximal zwei Sätze. Die Zettel werden gefaltet und anonym abgegeben. Nachdem gemischt wurde, zieht jeder Schüler einen Zettel. Ein beliebiger Schüler wird ausgewählt, der die ihm vorliegende Definition vorlesen darf. Dann wird nach Erweiterungen gesucht. Ist die Definition angenommen oder hat ein anderer Schüler eine bessere vorliegen? Da die Definitionen anonym sind, wird kein Schüler direkt getadelt und niemand besonders hervorgehoben. An der Tafel können während dessen Stichpunkte gemacht werden.

Arbeitsaufträge

Treibhausgase

Die SchülerInnen stellen in der Schule Internetrecherchen zu den verschiedenen Arten von Treibhausgasen an. Dabei können folgende Leitfragen verwendet werden:

- Wie sieht die Struktur der Gase aus?
- Welche chemischen Eigenschaften haben die Gase?
- Für was finden die Gase für gewöhnlich Verwendung?
- Wo können die Treibhausgase her kommen?
- Je nach Klassengröße können die SchülerInnen in Gruppen aufgeteilt werden. Jede Gruppe erstellt ein Merkblatt zu einem Treibhausgas. Die Merkblätter werden anschließend für die gesamte Klasse kopiert und besprochen.

Rekonstruktion einer Skizze

Die SchülerInnen werden in kleine Gruppen (zwei bis drei SchülerInnen) eingeteilt. Jeder Schüler erhält die Information aus dem Text. Die SchülerInnen bekommen eine begrenzte Zeit, um aus der

sehr knappen Information eine Skizze anzufertigen, die veranschaulicht wie der Kohlenstoffzyklus funktioniert. Dann schließen sich immer zwei Gruppen zusammen und erläutern ihre Skizze. Gegebenenfalls wird ergänzt.

Der Treibhauseffekt

Die Information aus dem Text wird einem freiwilligen Schüler ausgehändigt. Dann kommt ein weiterer Freiwilliger an die Tafel. Der erste Satz aus dem Text wird laut vorgelesen. Der Schüler an der Tafel versucht das Gesagte zu visualisieren. Wenn das nach dem bloßen Vorlesen des Satzes nicht möglich ist, wird der Inhalt erst per Diskussion erschlossen. Nach dem ersten Satz gibt der Schüler die Kreide an einen beliebigen Mitschüler weiter. Der nächste Satz wird vorgelesen. Dieser Prozess wird fortgesetzt, bis ein Gesamtbild des Treibhauseffekts an der Tafel entstanden ist. Das Bild kann abgezeichnet werden. Gegebenenfalls kann I2 für alle SchülerInnen kopiert werden.

Emissionsquellen

Es wird an der Tafel eine Tabelle angelegt, in die natürliche und anthropogene Quellen eingetragen werden können. Die SchülerInnen werden aufgefordert aufzustehen und Ideen einzutragen. Wenn nötig werden Tipps gegeben oder ergänzt.

Umweltschutz

Die SchülerInnen bilden Komitees aus Gruppen von vier bis fünf Mitgliedern. Die These „Umweltschutz – Warum eigentlich?“ wird an der Tafel notiert. Die einzelnen Gruppen denken sich einen Leitsatz aus. Die Gruppen stellen ihren Leitsatz und den dahinter stehenden Gedanken vor. Es wird gesammelt, welche Gründe die einzelnen Gruppen gefunden haben.

A1: Treibhausgase

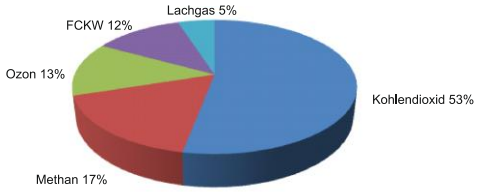
Formuliere, warum du denkst, dass es wichtig ist zu wissen, was Treibhausgase sind!

Man unterscheidet natürliche und anthropogene Treibhausgase. Das Wort „anthropos" kommt aus dem Griechischen und bedeutet „Mensch". Finde eine Definition für beide Arten von Treibhausgasen!

1. **Natürliche Treibhausgase:**
2. **Anthropogene Treibhausgase:**

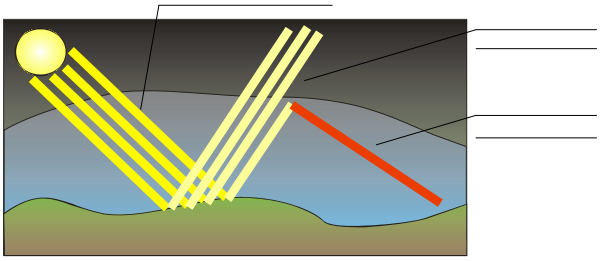
Folgende Abbildung zeigt verschiedene Treibhausgase und den durch den Menschen entstehenden Anteil an der Emission. Diskutiere mit deinem Nachbarn folgende Fragen:

a. Welche der Treibhausgase sind dir bekannt und woher kennst du sie?
b. Zeichne die Strukturformel der Verbindungen, die du kennst!
c. Stelle Vermutungen an, woher diese Treibhausgase stammen könnten!
d. Warum macht es einen Unterschied, ob Kohlenstoffdioxid oder Methan in der Luft ist? Warum werden die Gase getrennt aufgelistet?



A2: Der Treibhauseffekt

Beschrifte folgende Abbildung und erkläre (im Heft oder auf einem Zettel) was passiert!



Man unterscheidet den natürlichen und den anthropomorphen Treibhauseffekt. Erkläre beide Begriffe!

Erkläre, was der Treibhauseffekt eigentlich mit dir zu tun hat! Diskutiere dann mit deinem Nachbarn folgende Aussagen:

a. Der Treibhauseffekt geht mich nichts an! Das ist alles die Schuld der Industrie!
b. Um etwas am Treibhauseffekt zu ändern, muss ich erstmal verstehen, was das eigentlich ist!
c. Für die Gesellschaft in Deutschland spielt der Treibhauseffekt eine große Rolle!

A3: Wer setzt das ganze Treibhausgas frei?

Vervollständige die folgende Tabelle und diskutiere dann folgende Fragen mit deinem Nachbarn und mache dir Notizen!

a. Was gibt die Tabelle an? (Die Angaben beziehen sich auf ein Jahr)
b. Woran könnte es liegen, dass die Kanadier mit den größten CO_2-Ausstoß pro Kopf fabrizieren?
c. Vergleiche den deutschen CO_2-Ausstoß mit einem Entwicklungsland wie Mosambik!

Land	CO_2 [Mio. t]	Einwohner [Mio.]	CO_2 pro Einwohner [t]
1. USA	5697	299	19
2. CHN		1312	4,27
3. RUS	1587		11,14
4. IND		1110	1,13
5. JPN	1213		9,49
6. GE	823	82	
7. CAN		33	16,52
8. GB	536	61	
9. KOR	476	48	
10. ITA		59	7,61
133.MOZ	2	20	

A4: Ein Überblick

Diskutiere folgende Fragen und verwende dazu die Abbildungen!

a. CO_2 ist das medienwirksamste Treibhausgas. Warum ist CO_2 so ein großes Problem?
b. Vergleiche Abbildung 1 und 2: Wie passt die große Menge CO_2 in Abbildung 1 zu der relativ kleinen Menge CO_2 in Abbildung 2?
c. Vergleiche Abbildung 2 und 3: Wie passt die große Verweilzeit von CO_2 zu den relativ kleinen Mengen CO_2 aus Abbildung 2?

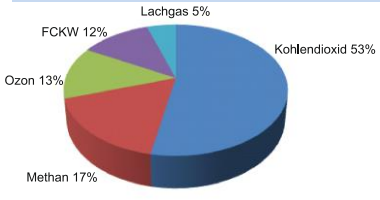


Abbildung 1: Anthropogen erzeugte Treibhausgase und ihr Verhältnis zueinander.

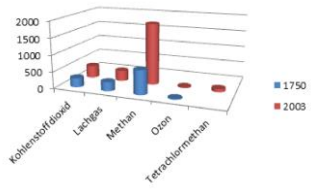


Abbildung 2: Gesamtmenge der Treibhausgase in der Atmosphäre im zeitlichen Vergleich. Angaben in ppb.

ppb (parts per billion) ist eine Mengenangabe. 500 ppb bedeutet, dass sich 500 Teile Treibhausgas in 1 Milliarden Teile Luft befinden.

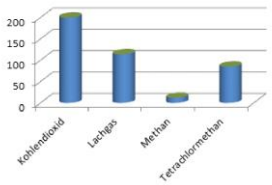


Abbildung 3: Verweilzeiten verschiedener Treibhausgase in der Atmosphäre. Angaben in Jahren.

A5: Ich und die Emission

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen direkten und indirekten Emissionsquellen. Unter direkter Emission versteht man all das CO_2, dass aktiv ausgeschüttet wird. Indirekt emittieren wir CO_2 indem wir Produkte und Angebote nutzen, deren Herstellung CO_2 emittiert hat. Finde einige Beispiele für beide Arten an Emission!

Direkte Emission:

Indirekte Emission:

Heizen verbraucht eine Menge Energie, wobei natürlich CO_2 ausgestoßen wird. Vergleiche den CO_2-Ausstoß verschiedener Heizungen! Finder heraus, welche Art von Heizung bei dir zu Hause genutzt wird!

Art der Heizung	kg CO_2/kWh
elektrisch	0,616
Erdgas	0,2
Erdöl	0,28
Alte Heizung	0,25 bis 0,35
Biomasse	Nur indirekt bei Transport und Herstellung
Holzpellets	0,06

Außerdem wird viel CO_2 im Verkehr ausgestoßen. Hier findest du zwei Formeln, mit denen man den CO_2-Ausstoß berechnen kann. Beantworte folgende Fragen:

a. Wie viel CO_2 pro km stößt dein Roller/dein Auto/das Auto deiner Eltern pro km aus?
b. Wie viele km fährst du ungefähr in einer Woche? Wie viel kg CO_2 entspricht das?
c. Wie viel kg CO_2 würdest du ausstoßen, wenn du jede Woche gleich viel fahren würdest?

Benzin

$$\frac{\text{Liter Benzin}}{100\,\text{km}} \times 23{,}7 \frac{\text{g } CO_2}{\text{Liter Benzin}/100} = \frac{\text{g } CO_2}{\text{km}}$$

Diesel

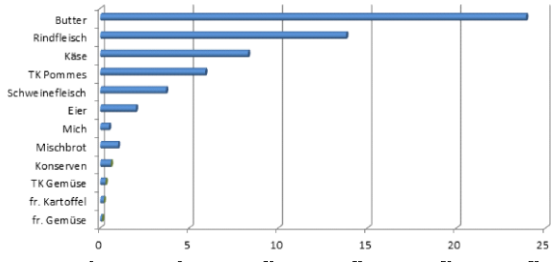
$$\frac{\text{Liter Diesel}}{100\,\text{km}} \times 26{,}5 \frac{\text{g } CO_2}{\text{Liter Diesel}/100} = \frac{\text{g } CO_2}{\text{km}}$$

A6: Essen und Trinken

Durch die Herstellung von Lebensmitteln entsteht eine Menge CO_2. Notiere hier fünf Lebensmittel, die du am meisten isst!

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Die folgende Abbildung zeigt, bei der Herstellung welcher Lebensmittel besonders viel CO_2 emittiert wird. Die Zhalen geben an, wie viel kg CO_2 pro kg Lebensmittel entstehen.



Diskutiere mit deinem Nachbarn folgende Fragen:

a. Warum setzt die Herstellung unterschiedlicher Lebensmittel überhaupt unterschiedlich viel CO_2 frei?
b. Vergleiche die CO_2-Bilanz verschiedener Lebensmittel mit den Lebensmitteln, die du in Aufgabe 1 genannt hast! Wie kann man es schaffen, weniger CO_2 indirekt über seine Ernährung zu emittieren?
c. Was kannst du aus der Abbildung für folgende Lebensmittel schließen und warum:
   - Pizza
   - Quark
   - Backwaren
   - Eiscreme

4.1.6.4 Teil 2: Die Kohleindustrie

Entstehung und Aufbau von Kohle

Kohle gehört in die Gruppe der fossilen Brennstoffe genauso wie Erdöl und Erdgas. Wie letztere ist auch die Kohle in einem langen geologischen Prozess entstanden.

Das Ausgangsmaterial von Kohle ist hauptsächlich pflanzlichen Ursprungs wie beispielsweise Farne (Baumfarne). Im Karbon, der erdgeschichtlichen Entstehungszeit der heute abbaubaren Steinkohle, herrschte ein sehr warmes und feuchtes Klima mit einem ausgeprägten Pflanzenwachstum.

Beim Absterben einzelner Pflanzen versanken diese im Sumpf und konnten so nicht von der Luft zersetzt werden. Es entstand Torf.

Meereseinbrüche brachten immer mehr Sedimente, Gesteine und Schlamm, welche den Torf bedeckten. Unter dem wachsenden Druck und der erhöhten Temperatur begann der Prozess der Inkohlung. Der Druck presste das Wasser aus dem Torf und es entstand zuerst Braunkohle.

Der zu dieser Zeit noch geringe Druck presste nur wenig Wasser aus der Kohle. Mit der Zeit wurden immer mehr Gesteinsschichten über dem ehemaligen Torf abgelagert. Damit stieg der Druck immer weiter und immer mehr Wasser wurde aus der Kohle herausgepresst. Nach und nach wurde aus der Braunkohle Steinkohle. Deshalb ist die wirtschaftliche Qualität der Kohle umso besser, je tiefer sie in der Erde liegt und je älter sie ist.

Insbesondere während des Karbons vor etwa 280 bis 345 Millionen Jahren entstanden mächtige Steinkohlelagerstätten, die heute zu den weltweit wichtigsten Energielieferanten zählen. Die Braunkohlelagerstätten sind wesentlich jünger und sind im Tertiär vor 2,5 bis 65 Millionen Jahren entstanden.

Kohle besteht genauso wie Ruß und Holzkohle aus Kohlenstoffatomen, die sich allerdings nicht in einer besonderen räumlichen Anordnung befinden, sondern mehr oder weniger unregelmäßig ein unvollständiges Gitter bilden. Man sagt, der Kohlenstoff sei schlecht kristallisiert. Vor allem handelt es sich um verunreinigte und ungeordnete Graphitstückchen, die sich dann zu einem Stück Kohle vereint haben. Der Name Kohle kommt aus dem altgermanischen. Die Steinkohle wird auch „Schwarzes Gold“ genannt. Die folgende Abbildung zeigt einer möglichen Struktur eines Kohle-Segments:

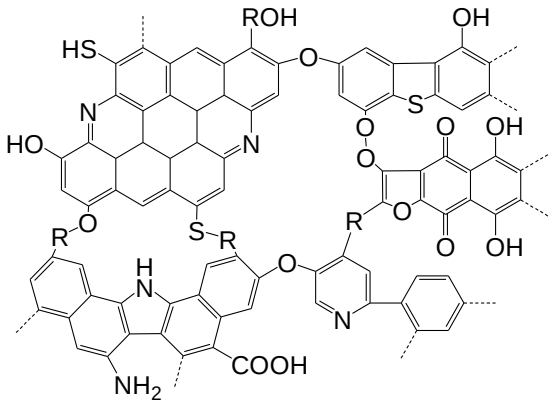


Abb. 183: Struktur von Kohle

Wie man sieht, besteht die Kohle hauptsächlich aus einem Gerüst aromatischer Kohlenstoff-Ringe. Aber auch andere Elemente kommen vor und bilden verschiedene funktionelle Gruppen. Je nachdem wie hoch der Anteil anderer Elemente in der Kohle ist, unterscheidet man verschiedene Arten von Kohle, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Tab. 23: Verschiedene Kohlearten[A]

	C [%]	H [%]	O [%]
Weichbraun-kohle	65	7	28
Hartbraun-kohle	70	7	23
Flammkohle	81	6	13
Gasflamm-kohle	85	6	9
Gaskohle	88	5	7
Esskohle	90	4	3
Anthrazit	> 91,5	< 3,8	< 2,5

Die verschiedenen Kohlearten werden nach steigendem Kohlenstoffanteil geordnet. Je nachdem wie hoch die entsprechenden Anteile ausfallen, verändern sich die Eigenschaften der Kohle. Auch der Wirkungsgrad bei der Verbrennung unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Kohlarten stark.
Grundsätzlich unterscheidet man Braunkohle und Steinkohle. Wie erwähnt, entstehen sie in unterschiedlichen Zeiträumen. Aufgrund ihres niedrigeren Wirkungsgrads sind Braunkohlekraftwerke in dieser Hinsicht ungünstiger als Steinkohlekraftwerke. Das bedeute: Man muss mehr Braunkohle als Steinkohle verbrennen, um dieselbe Menge an Energie zu erhalten. Also setzen Braunkohlekraftwerke bei der Erzeugung derselben Menge Energie mehr Kohlenstoffdioxid frei.

Kohle oder nicht?

Deutschland soll wie gesagt in naher Zukunft aus der Kohleförderung ausscheiden. Welche Faktoren sprechen also gegen die Kraftwerke? Warum sollten alle Stollen geschlossen werden?

Der primäre Grund warum Deutschland aus der Steinkohle Industrie aussteigen will, ist der teure Preis der deutschen Kohle, der daraus resultiert, dass die Steinkohlegebiete nur schwer erreichbar sind. Der Bergbau wird dadurch sehr teuer und damit steigt der Preis des Endprodukts. Importierte Kohle ist im Vergleich viel günstiger. Folgende Tabellen bieten einen Überblick über die 2001 geförderten Mengen an Steinkohle und Braunkohle

Tab. 24: Braunkohle Förderung[A]

Förderung Braunkohle	Mio. t	Anteil [%]
Europa	469	54
(Davon GE	176	20)
Asien	129	15
USA/CAN	117	13
GUS	89	10
Australien	66	8

Wie man sieht, nimmt Deutschland keinen großen Stellenwert bei der weltweiten Förderung von Steinkohle ein. Warum also nicht aus der Steinkohleindustrie aussteigen, wenn man doch ohnehin nur so wenig fördert?
Die vier Nationen mit den weltweit größten Kohlevorkommen sind die USA, Russland, China und Indien. Allerdings entwickeln sich diese Nationen immer mehr zu Nettoimportueren. Obwohl ihnen die größte Menge Kohle zur Verfügung steht, exportieren sie ihre Kohle nicht, sondern importieren zusätzlich aus anderen Ländern wie etwa Australien. Der Energiebedarf dieser Nationen steigt

immer weiter und nimmt derartige Ausmaße an, dass diese Länder anderen wohl kaum etwas von ihren Vorräten abgeben können. Will sich Deutschland also von diesen Mächten abhängig machen?

Tab. 25: Steinkohle Förderung[A]

Förderung Steinkohle	Mio. t	Anteil [%]
USA/CAN	975	28
China	940	27
Ferner Osten (o. China)	477	14
GUS	328	10
Australien	231	7
Afrika	229	7
Osteuropa	117	3
Mittel- und Südamerika	53	2
Westeuropa	75	2
Davon GE	27	1

Es kommt hinzu, dass in Deutschland immer noch eine Menge Primärenergie durch Steinkohle gewonnen wird wie die folgende Abbildung zeigt. Obwohl Deutschland wesentlich mehr Braunkohle schürft als Steinkohle, werden doch 2% des Primärenergiebedarfs mehr durch Steinkohle gedeckt. Dieser Umstand ist allerdings auch den schlechten Wirkungs-graden von Braunkohlekraftwerken zu verdanken.

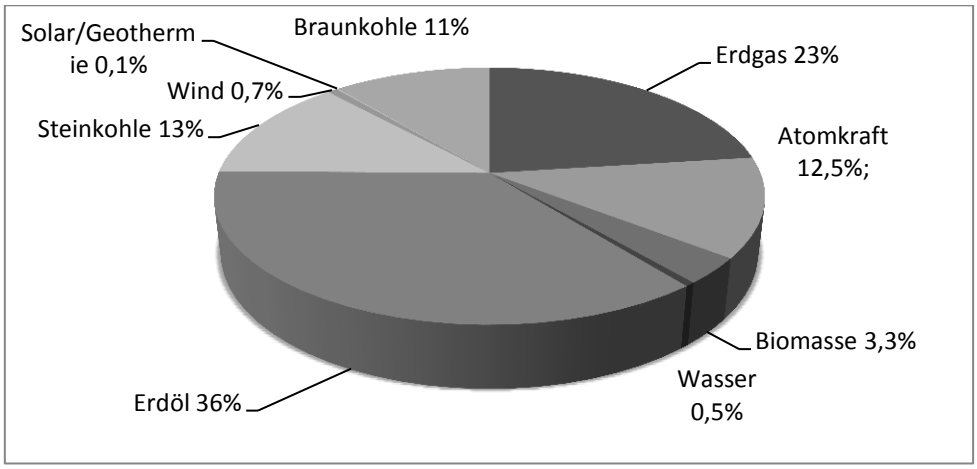


Abb. 184: Primärenergie in Deutschland[198]

CO_2-Ausstoß

Die Verbrennung von Kohle verursacht eine Menge CO_2. Die Kohlekraftwerke sind die Energiegewinner, die den größten Teil an CO_2 überhaupt ausstoße wie Abbildung 185 zeigt. Die

Bundesregierung setzt deshalb auf erneuerbare Energie und will dem Kohlebergbau auf lang oder kurz ein Ende machen.

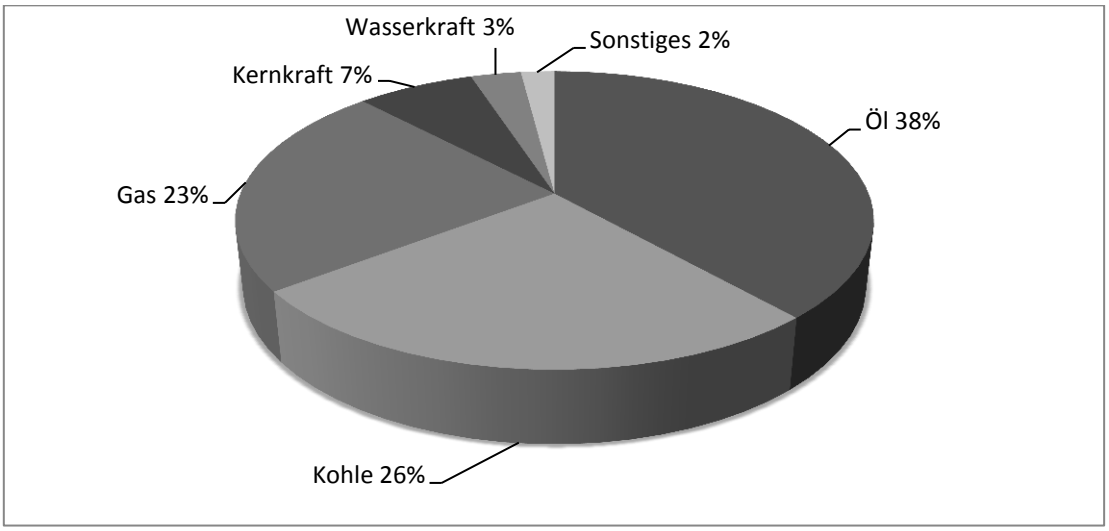


Abb. 185: CO_2-Ausstoß bezogen auf die Brennstoffart[198]

Allerdings ergaben Schätzungen, dass der Bedarf an Kohle in den nächsten zwanzig Jahren von 25 auf 28 Prozent steigen wird. Fieberhaft suchen Wissenschaftler nach alternativen und erneuerbaren Energien. Allerdings haben selbst sehr optimistische Schätzungen ergeben, dass bis zum Jahr 2030 maximal 17% des Energiebedarfs mit alternativen Techniken gestellt werden kann. Sprich: Ohne die Kohle wird es zu wenig Energie geben. Alternative Energien können nicht gleichzeitig den erhöhten Energiebedarf decken und die Kohle ersetzen. Das ist leider Fakt auch in Hinsicht auf erhöhte CO_2-Bilanzen.

Wir werden wohl in Zukunft nicht um die Kohle herum kommen. Aber wie kann man trotzdem umweltverantwortlich handeln? Neue Techniken befassen sich damit, dass ausgestoßene CO_2 zu binden. Zum Beispiel wird eine Menge CO_2 in Gesteinsschichten gepumpt und dort gespeichert. Aber diese Technik ist noch lange nicht ausgereift.

<u>Vor- und Nachteile auf einen Blick</u>

Pro-Kohle

- Kohle ist weltweit verfügbar.
- Kohle ist relativ billig in Sachen Abbau, Transport und Lagerung.
- Kohle hat eine längere Verfügbarkeit gegenüber Öl und Gas.
- Man wird sicher bald eine technische Methode finden, um das ausgestoßene CO_2 zu binden.
- Hier in Deutschland muss man Kohle nicht einmal selbst abbauen und damit die Natur zerstören: Importkohle ist viel günstiger als hier abgebaute Kohle.
- Schätzungen haben ergeben, dass der Kohlebedarf steigen wird.

- Kohle ist nach Erdöl der wichtigste Energieträger weltweit.
- Der Kohlepreis am Weltmarkt ist stabil.
- Alternative Energien können nicht gleichzeitig den steigenden Energiebedarf decken und die Kohle ersetzen.
- Aus Kohle kann auch Benzin gemacht werden. Das geht mit Solarenergie zum Beispiel nicht.

Kontra-Kohle

- Für den Tagebau sind riesige Flächen notwendig, weswegen manchmal ganze Dörfer umgesiedelt werden. Dabei können auch kulturelle Gebiet verloren gehen.
- Beim Tagebau entstehen riesige trockene Flächen, die Unmengen von Staub emittieren.
- Im Tagebau wird der Grundwasserspiegel künstlich gesenkt. Das kann Auswirkungen auf die Pflanzenwelt haben.
- Kohle ist Klimakiller Nummer eins.
- Dadurch, dass keine Kohle mehr hier in Deutschland abgebaut werden soll, werden eine Menge Arbeitsplätze verloren gehen.
- Durch die Importkohle macht sich Deutschland abhängig von den großen Kohlenationen.
- Die Kohlestaaten nutzen ihre Machtposition auch außenpolitisch.
- Zwei-Drittel aller Reserven fallen vier großen Ländern zu (USA, Russland, Indien, China).
- Vier Großanbieter beherrschen den Kohlemarkt und kontrollieren einen sehr großen Teil der weltweiten Kohle.
- Drei Viertel der Kohle, die aus dem Ausland exportiert werden, stammen aus politisch instabilen Ländern.
- Die vier großen Kohle-Länder gehören nicht zu den größten Exporteuren. Sie behalten die meiste Kohle für sich.

<u>Arbeitslosigkeit</u>

Vier Großanbieter beherrschen den Markt. Sie werden auch die „Big Four“ genannt.

- BHP Billiton
- Xstrata/Glencore
- Anglo Coal
- Rio Tinto

Diese vier Unternehmen kontrollieren 40% des weltweiten Kohleexports. Dementsprechend kolossal sind auch die Mitarbeiterzahlen. Allein BHP Billiton beschäftigt weltweit rund 82.000 Menschen. Das sind vor allem nicht superreiche Großverdiener der Mangementbranche, sondern auch Bergleute, Baggerführer und Arbeitern in den Kraftwerken. Man geht davon aus, dass die Kohlereserven noch etwa 150 Jahre halten. Die Ressourcen hingegen sollen noch für 800 Jahre

erhalten sein. Es ist also nicht davon auszugehen, dass einer der Big Four sein Unternehmen einstellt und gleich fast 100.000 Menschen ihre Arbeit verlieren. In Deutschland hingegen sind die Pläne konkreter.
Im Braunkohlebergbau sind in Deutschland 22.605 Angestellte beschäftigt. Die Steinkohleindustrie beschäftigt 27.317 Männer und Frauen (Stand 2010). Diese rund 27 Tausend Arbeitsplätze sollen also bis 2030 wegfallen.
Arbeitslosigkeit kann aus unterschiedlichen Ursachen heraus entstehen. Die Sozialethik unterscheidet vier verschiedene Möglichkeiten:

Friktionelle Arbeitslosigkeit

- Bei einer Friktion handelt es sich um ein Hemmnis oder einen Widerstand. Es gibt hier offene Stellen, die aber verzögert besetzt werden. Das resultiert zum Beispiel daraus, dass die Arbeitnehmer erst nach Stellen suchen müssen, Bewerbungsverfahren lange dauern, dass ein Umzug notwendig ist, o. Ä.

Merkmalstrukturelle Arbeitslosigkeit

- Es gibt offene Arbeitsstellen, aber keine Arbeiter mit passender Qualifikation. Die Stellen passen also nicht zu den Arbeitern.

Konjunkturelle Arbeitslosigkeit

- Eigentlich freie Arbeitsplätze werden nicht wieder besetzt, weil die Firmen aus wirtschaftlichen Gründen weniger produzieren. Das kommt vor allem dann vor, wenn die Nachfrage sinkt.

Systemische Arbeitslosigkeit

- Diese Arbeitslosigkeit resultiert daraus, dass das Wirtschafts- und Gesellschaftssystem einfach nicht in der Lage ist ausreichend Arbeitsplätze zur Verfügung zu stellen. Der Standort Deutschland ist beispielsweise zu teuer und es wird lieber exportiert oder im Ausland produziert. Es herrscht also insgesamt ein Mangel an Arbeitsplätzen.

<u>Die Arten der Gerechtigkeit</u>

Wenn wir von Gerechtigkeit sprechen, dann meinen wir meistens eine zwischenmenschliche Perspektive. Das Gefühl, ungerecht behandelt worden zu sein ist dabei maßgeblich. Außerdem können Schicksalsereignisse dazu führen, dass man sich ungerecht behandelt fühlt. „Das ist doch alles ungerecht!“, ist ein wohl viel verwendeter Satz.
Gerechtigkeit wird oft als ein Zustand definiert, in dem innerhalb einer Personengruppe oder eines Systems eine gleichmäßige Verteilung zwischen Interessen, Gütern und Chancen herrscht. Anhand dieser Definition wird ersichtlich, dass man die deutsche Sozialstruktur auch als ungerecht

bezeichnen kann. Güter und Chancen sind in Deutschland sicher nicht gleich und zur Zufriedenheit aller Verteilt. Das ist eine klare Auswirkung der Leistungsgesellschaft. Vor allem die Chancen auf Arbeitsplätze sind sehr unterschiedlich ausgeprägt und hängen von verschiedenen Faktoren ab. Pierre Bourdieu, ein bedeutender Soziologe, beschreibt eine drei Klassen Gesellschaft, die sich aufgrund der in ihren Feldern herrschenden Hierarchie selbst reproduziert. Grundsätzlich kann man den Zusammenhang zwischen Feld und Klasse wie in folgender Abbildung zusammenfassen:

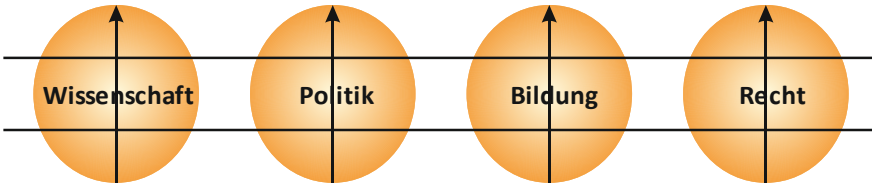


Abb. 186: Bourdieus Verständnis von Feldern und Klassen

In jeder Gesellschaft gibt es Felder (Wissenschaft, Politik, Kuns, Recht….) in denen eine Hierarchie herrscht, welche die Felder überspannt. Durch die beiden Klassengrenzen wird jedes Feld in drei Klassen aufgeteilt. Jede Klasse besitzt dabei einen eigenen Klassenhabitus, der einerseits von der Klasse selbst generiert wird und andererseits dafür sorgt, dass man sich der Klasse zugehörig fühlt. So ist die Fluktuation (im Unterschied zu unserem Schichtverständnis) relativ gering.
Frag sich, ob ein solches System, wie es Bourdieu skizziert überhaupt gerecht sein kann. Ungerechtigkeit kann uns in jedem Feld treffen. Dabei kann man verschiede Arten von Gerechtigkeit unterscheiden:

- *Personale Gerechtigkeit*

Die Gerechtigkeit zählt zu den von Aristoteles genannten Kardinaltugenden. Wenn man von personaler Gerechtigkeit spricht, geht es also um den Gerechten Menschen. Um mit Bourdieu zu sprechen: Ein gerechter Mensch handelt habituell gerecht und nicht nur, weil man ihm Strafe androht. Sprich: Ein Mensch ist per Definition dann gerecht, wenn er beispielsweise den Müll nicht auf die Straße sondern in einem Mülleimer wirft, weil er freiwillig so handelt und nicht aus dem Impuls heraus vielleicht erwischt zu werden und Strafe bezahlen zu müssen. Umweltschutz kann also personale Gerechtigkeit enthalten, insofern die vollzogenen Handlungen freiwillig und „aus sich heraus“ geschehen. Eine Tugend ist Gerechtigkeit nur, wenn sie ein Persönlichkeitsmerkmal ist. Handlungen aus Vorsatz (gutem oder schlechten Vorsatz) sind kein Persönlichkeitsmerkmal und damit keine Tugend. Ob eine Handlung Tugend ist oder nicht lässt sich besonders dann sehen, wenn entgegen der eigenen Neigung entschieden wurde (vgl. Kant).

- *Soziale Gerechtigkeit*

Im Gegensatz zu personaler, also individueller Gerechtigkeit, tritt der soziale, auf die Gesellschaft bezogene Aspekt der Gerechtigkeit in den Vordergrund. Die Tugend eines einzelnen als Persönlichkeitsmerkmal wird weniger betont, auch wenn schon personale Gerechtigkeit auf eine

Gesellschaft hin interpretiert werden kann. Ethische Bewertung und Orientierung im Gesellschaftlichen System zusammen mit sozialen regeln und Strukturen stehen im Vordergrund.

- *Umweltgerechtigkeit*

Wie der Name schon sagt, richtet sich diese Art der Gerechtigkeit auf die Umwelt aus, im speziellen auf die nicht-menschliche Umwelt. Dabei ist ein Verantwortungsvoller Umgang mit den natürlichen Ressourcen auch in Hinsicht auf eine Vermeidung von Umweltverschmutzung zu verstehen. Es besteht ein genuines Verhältnis zwischen der Gerechtigkeit gegenüber der Umwelt und der Grundlage des Friedens zwischen den Menschen.

4.1.6.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Die Kohleindustrie“

Einstieg

Recherche

Als Vorbereitung auf die Einheit recherchieren die SchülerInnen zu Hause auf der Internetseite www.kohlestatistik.de.

Arbeitsaufträge

Entstehung von Kohle

Die SchülerInnen erhalten die Information aus dem Text und den Arbeitsauftrag auf der Basis des Textes ein Flussdiagramm anzufertigen.

Kohlearten

Die SchülerInnen werden in gleich große Gruppen aufgeteilt. Als Hausaufgabe recherchieren sie die Eigenschaften und weiterführenden Informationen verschiedener Kohlearten. In der nächsten Stunde stellen die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse vor.

Big Four

Um mehr über die Big Four herauszufinden, wird auf kleinen Zetteln gleich oft einer der vier Firmennamen notiert. Die SchülerInnen ziehen eine Firma und erhalten den Auftrag als Hausaufgabe zu recherchieren. Dabei können folgende Leitfragen hilfreich sein:

- Wie viele Angestellte beschäftigt die Firma?
- In welchen Ländern ist die Firma tätig?
- Wie viel Prozent der Kohle beherrscht eine Firma?

Diskussion

Die Klasse wird in zwei gleich große Gruppen aufgeteilt. Jede Gruppe erhält entweder die Pros oder Kontras aus dem Text. Auf dieser Basis wird eine Diskussion geführt. Die SchülerInnen müssen die jeweils andere Gruppe von ihrem Standpunkt überzeugen.

A7: Entstehung von Kohle

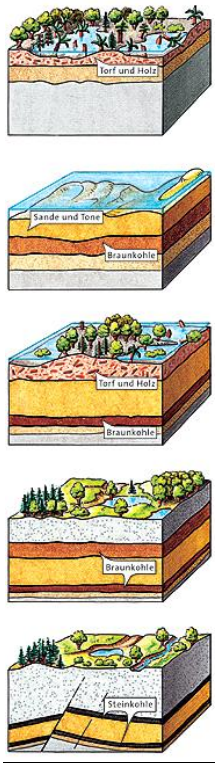


Abbildung 1

_____
_____
_____
_____

Abbildung 2

_____
_____
_____
_____

Abbildung 3

_____
_____
_____
_____

Abbildung 4

_____
_____
_____
_____

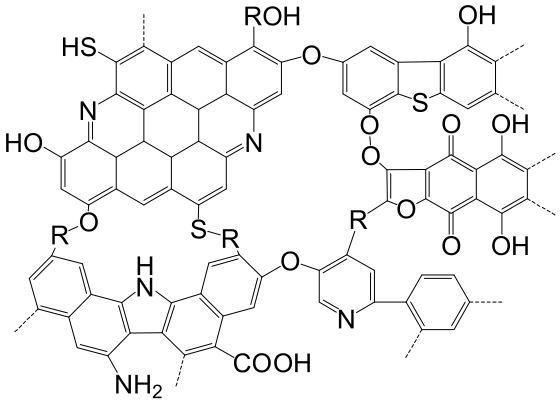
Abbildung 5

_____
_____
_____
_____

https://www.google.com/search?q=entstehung+Kohle&client=firefox-a&hs=lu
6&rls=org.mozilla:de:official&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=vp9lUrs2AYj
RtAbbxYDoCA&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1348&bih=498&dpr=1#facrc=_&imgdii=_&imgrc=OpIWl6qqncFaZM%3A%3BXdsteJNlBDnm_M%3Bhttp%253
A%252F%252Fwww2.klett.de%252Fsixcms%252Fmedia.php%252F76%252Fkohleentstehung.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.klett.de%252Fsixcm
s%252Flist.php%253Fpage%253Dinfothek_artikel%2526extra%253DHaack%252520Weltatlas%252520SI%252520-%252520Online%2526artikel_id%25
D90661%2526inhalt%253Dkss_klett01.c.264554.de%3B181%3B659 [07.09.2013]

A8: Was ist Kohle?

Kohle besteht genauso wie Ruß und Holzkohle aus Kohlenstoffatomen, die sich allerdings nicht in einer besonderen räumlichen Anordnung befinden, sondern mehr oder weniger unregelmäßig ein unvollständiges Gitter bilden. Man sagt, der Kohlenstoff sei schlecht kristallisiert. Vor allem handelt es sich also um verunreinigte und ungeordnete Graphitstückchen, die sich dann zu einem Stück Kohle vereint haben. Der Name Kohle kommt aus dem altgermanischen. Die Steinkohle wird auch „Schwarzes Gold" genannt. Die folgende Abbildung zeigt einer möglichen Struktur eines Kohle-Segments. Umkreise die funktionellen Gruppen, die du bereits kennst!



	C [%]	H [%]	O [%]
Weichbraun-kohle	65	7	28
Hartbraun-kohle	70	7	23
Flammkohle	81	6	13
Gasflamm-kohle	85	6	9
Gaskohle	88	5	7
Esskohle	90	4	3
Anthrazit	> 91,5	< 3,8	< 2,5

Interpretiere die nebenstehende Tabelle! Welchen Unterschied kann es machen, wenn Kohle aus verschiedenen Bestandteilen besteht?

A9: Teure deutsche Kohle

Der primäre Grund, warum Deutschland aus der Steinkohle Industrie aussteigen will, ist der teure Preis der deutschen Kohle, der daraus resultiert, dass die Steinkohlegebiete nur schwer erreichbar sind. Der Bergbau wird dadurch sehr teuer und damit steigt der Preis des Endprodukts. Importierte Kohle ist im Vergleich viel günstiger. Vergleiche folgende Tabelle und beantworte die Fragen:

a. Was wird in den Tabellen gezeigt?
b. Welchen Anteil an der Stein- und Braunkohleförderung hat Deutschland im internationalen Vergleich? Was könnte das für die deutsche Gesellschaft in Hinsicht auf ihren Stromverbrauch bedeuten?

Förderung Steinkohle	Mio. t	Anteil [%]
USA/CAN	975	28
China	940	27
Ferner Osten (o. China)	477	14
GUS	328	10
Australien	231	7
Afrika	229	7
Osteuropa	117	3
Mittel- und Südamerika	53	2
Westeuropa	75	2
Davon GE	27	1

Förderung Braunkohle	Mio. t	Anteil [%]
Europa	469	54
(Davon GE	176	20)
Asien	129	15
USA/CAN	117	13
GUS	89	10
Australien	66	8

Die vier Nationen mit den weltweit größten Kohlevorkommen sind die USA, Russland, China und Indien. Allerdings entwickeln sich diese Nationen immer mehr zu Nettoimportueren. Obwohl ihnen die größte Menge Kohle zur Verfügung steht, exportieren sie ihre Kohle nicht, sondern importieren zusätzlich aus anderen Ländern, wie etwa Australien. Der Energiebedarf dieser Nationen steigt immer weiter und nimmt derartige Ausmaße an, dass diese Länder anderen wohl kaum etwas von ihren Vorräten abgeben können. Diskutiert folgende Fragen zu zweit unter zu Hilfenahme des Diagramms.

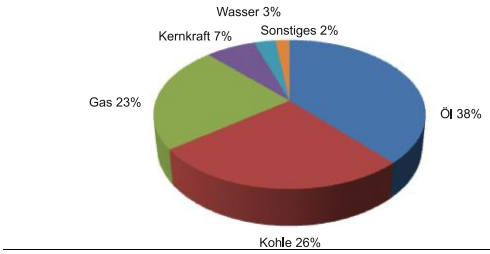
a. Wie erlangt Deutschland seine Energie?
b. Welche Auswirkungen könnte es für Deutschland haben aus der Kohleindustrie auszusteigen?
c. Welche Auswirkungen könnte es für die Umwelt haben, wenn Deutschland immer mehr Kohle verbrennt?
d. Wägt Punkt b und c gegeneinander ab!

Erdöl 36%
Wasser 0,5%
Biomasse 3,3%
Atomkraft 12,5%
Erdgas 23%
Braunkohle 11%
Solar/Geothermie 11%
Wind 0,7%
Steinkohle 13%

A10: CO_2-Ausstoß

Energieerzeugung und Energieverbrauch stößt CO_2 aus. Wie viel CO_2 ausgestoßen wird hängt allerdings von der Art der Energieerzeugung ab.
Abbildung 1 zeigt, woher Deutschland seine Energie bezieht.
Abbildung 2 zeigt, welche Energieform wie viel Prozent am CO_2 Ausstoß ausmacht.

Erdöl 36%
Wasser 0,5%
Biomasse 3,3%
Atomkraft 12,5%
Erdgas 23%
Braunkohle 11%
Solar/Geothermie 11%
Wind 0,7%
Steinkohle 13%



Diskutiert folgende Fragen:

a. Welchen Anteil am CO_2-Ausstoß hat die in Deutschland am häufigsten genutzte Energiequelle?
b. Wie viel Prozent der Energieversorgung müssen ersetzt werden, wenn man nur Energiequellen verwendet, die verhältnismäßig wenig CO_2 ausstoßen? Hältst du es für wahrscheinlich, dass dies umsetzbar ist?
c. Denkst du, dass es sinnvoll ist aus der Kohleenergie auszusteigen, solange Deutschland keine andere Alternative hat?

A11: Arbeitslosigkeit

Im Braunkohlebergbau sind in Deutschland 22.605 Angestellte beschäftigt. Die Steinkohleindustrie beschäftigt 27.317 Männer und Frauen. Die deutsche Politik hat vor bis 2030 aus der Steinkohleindustrie auszusteigen. Dabei würden also rund 27 Tausend Arbeitsplätze wegfallen. Diskutiere dazu folgende Aussagen:

a. In Deutschland gibt es Millionen Arbeitslose. Da kommt es auf die 27 Tausend auch nicht mehr an!
b. Wenn die Politik mit der Steinkohle Schluss machen will, muss sie sich eine Alternative für die Angestellten ausdenken!
c. Ich finde es richtig aus der Steinkohleindustrie auszusteigen. Dabei wird einfach zu viel CO_2 ausgestoßen. Die Angestellten haben Pech und immerhin 20 Jahre Zeit nach einer neuen Arbeit Ausschau zu halten!

Man unterscheidet vier verschiedene Arten von Arbeitslosigkeit. Worunter würden die Angestellten der Steinkohleindustrie nach dem wegfallen ihres Arbeitsplatzes fallen? Begründe!

1. Friktionelle Arbeitslosigkeit

Bei einer Friktion handelt es sich um ein Hemmnis oder einen Widerstand. Es gibt hier offene Stellen, die aber verzögert besetzt werden. Das resultiert zum Beispiel daraus, dass die Arbeitnehmer erst nach Stellen suchen müssen, Bewerbungsverfahren lange dauern, dass ein Umzug notwendig ist, o. Ä.

2. Merkmalstrukturelle Arbeitslosigkeit

Es gibt offene Arbeitsstellen, aber keine Arbeiter mit passender Qualifikation. Die Stellen passen also nicht zu den Arbeitern.

3. Konjunkturelle Arbeitslosigkeit

Eigentlich freie Arbeitsplätze werden nicht wieder besetzt, weil die Firmen aus wirtschaftlichen Gründen weniger produzieren. Das kommt vor allem dann vor, wenn die Nachfrage sinkt.

4. Systemische Arbeitslosigkeit

Diese Arbeitslosigkeit resultiert daraus, dass das System des Wirtschaft- und Gesellschaftssystems einfach nicht in der Lage ist ausreichend Arbeitsplätze zur Verfügung zu stellen. Der Standort Deutschland ist beispielsweise zu teuer und es wir lieber exportiert oder im Ausland produziert. Es herrscht also insgesamt ein Mangel an Arbeitsplätzen.

4.1.6.6 Teil 3: Wird Strom zum Luxusgut?

Die nationale Sicht

Der Strom- und die Energiepreise in Deutschland unterliegen verschiedenen wirtschaftlichen Faktoren. Aber auch andere Gründe spielen eine wichtige Rolle, wenn es um die Berechnung der Preise geht. Natürlich sind die deutschen Preise direkt an den Weltmarkt gekoppelt.

Vor allem die Kosten für fossile Brennstoffe, die aus geologischen Gründen anderen Staaten eher zur Verfügung stehen und von Deutschland in großen Mengen exportiert werden, hängen vom internationalen Markt ab. Da die Reserven für diese Brennstoffe in nicht allzu ferner Zukunft aufgebraucht sein werden und die Ressourcen zum großen Teil nicht vollständig nutzbar gemacht werden können, wird die Nachfrage nach fossilen Brennstoffen steigen. Das erhöht natürlich den Preis.

Nicht zuletzt führt die steigende Nachfrage nach Energie dazu, dass die Nachfrage nach Primärenergiequellen steigt. Diese erhöhte Nachfrage muss gestillt werden oder Energie kann nicht mehr geliefert werden. Wie in Abbildung 185 zu sehen, wird in Deutschland noch immer eine Menge der Primärenergie aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Die Politik strebt allerdings an, diese Menge zu reduzieren. Man darf bei der Berechnung des Energiemix der Zukunft nicht nur darauf achten, welche Primärquelle eine andere ersetzen kann, sondern man muss im Hinterkopf behalten, dass der Gesamtbetrag der verbrauchten Energie, also die 100%, steigen wird. Die Menschen verbrauchen immer mehr Energie. Daher ist es auch keine sinnvolle Lösung sofort auf alle fossilen Energien zu verzichten. Es sei denn man will Strom zum Luxusprodukt machen. Wenn es nicht genug Energie für alle gibt, bekommt sie der, der am meisten zahlt.

Große Hoffnung wird in die Entwicklung von alternativer Energie gesetzt. Aber die technischen Neuerungen wie die Brennstoffzellentechnik oder Solarenergie haben oft schlechte Wirkungsgrade, welche die Energie teurer machen. Biodiesel, der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird, ist beispielsweise pro Liter teurer als fossiler Diesel. Erst die staatliche Subventionierung macht Biodiesel deutlich günstiger. Und das, obwohl nachwachsende Rohstoffe auch keine berauschende CO_2-Bilanz haben.

Es scheint als müsse man sich zurzeit zwischen Ökologie und Ökonomie entscheiden.

Die Abschaffung der umweltfeindlichen Techniken, also von Kernkraft und fossilen Brennstoffen, hinterließen ein derart großes Loch, das nicht nur die Wirtschaft, sondern die allermeisten Menschen in Deutschland darunter leiden müssten. Das Belassen der Dinge so wie sie sind, führt zur Erhöhung der mittleren Temperatur der Erde. Beides keine schönen Aussichten.

Die Sicht der Entwicklungsländer

Vor allen in den Entwicklungsländern herrscht Energieknappheit. Weltweit haben 2,2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu moderner Energie.

In den Entwicklungsländern wird die meiste Energie über Biomasse gewonnen, wie Abbildung 187 zeigt.

Wenn ein Land wie Äthiopien fast seine gesamte Energie aus Biomasse gewinnt, heißt das nicht, dass dort viele moderne Biomassekraftwerke stehen. Viel mehr bedeutet dieser Umstand nur, dass dort auf offenem Feuer gekocht wird. Dabei geht eine Menge Energie verloren. Und verbrannt werden oft Müll und Abfall.

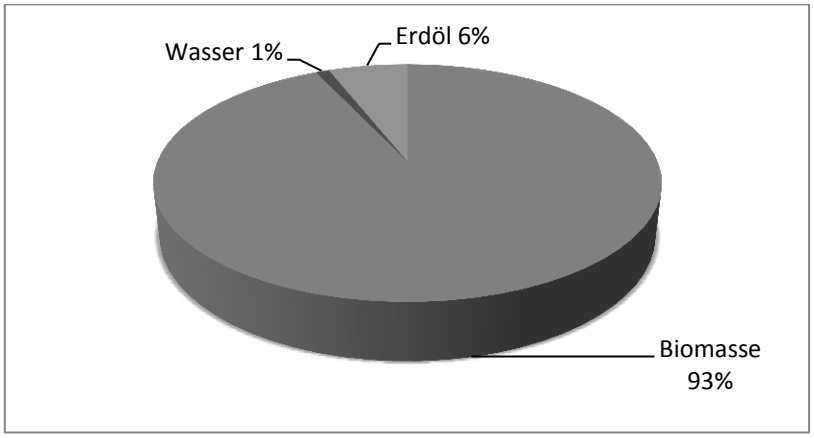


Abb. 187: Primärenergie in Äthiopien[B]

An den Folgen von Vergiftungen streben in Entwicklungsländern viele Menschen. Vor allem die Auswirkungen der eingeatmeten Dämpfe sind schwerwiegend: Tuberkulose, Asthma, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Lungenkrebs sind keine Seltenheit.

Noch dazu kommt, dass in vielen Dritte-Welt-Ländern Energiepflanzen angebaut werden, die zum Verheizen im Kraftwerk gedacht sind. Diese Fläche geht für Lebensmittel verloren und verstärkt die Hungersnöte. Um eine Tankfüllung mit Bioethanol herzustellen, benötigt man 200 kg Mais. Davon kann man einen Erwachsenen ein ganzes Jahr ernähren.

Die Energiearmut der dritten Welt hat aber noch andere Folgen. Ist die Sonne erst einmal untergegangen, endet das aktive Leben in der Regel. Es ist weder möglich zu lesen noch soziale Kontakte zu pflegen. Die empirische Forschung hat herausgefunden, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der Armut und der Energiearmut gibt. Beide sind wechselseitig miteinander verknüpft. Keine Entwicklung ohne Energie und ohne Geld keine Energie. Damit wir die Gefahr, dass sich der Graben zwischen arm und reich vergrößert, erhöht. Verstärkte Migration wird provoziert und eine friedliche Entwicklung gefährdet.

Autonomie statt Integration

Es scheint es sei das Ziel der jetzigen Energiepolitik die Ressourcen global zu vernetzen und Techniken über Ländergrenzen hinweg auszutauschen. Diese Tatsache lässt sich am Beispiel des

Solarstroms aus Afrika aufgreifen. Derzeit arbeiten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen daran ein europaweites Netz der Energieversorgung zu schaffen. Dieses System hat gewiss viele Vorzüge, die an dieser Stelle nicht abgesprochen werden sollen.
Auf der anderen Seite wird von Forschen das Prinzip proklamiert, dass Autonomie förderlicher sei als Integration. Das heißt faktisch, dass die Verantwortung auf mehrere Köpfe verteilt werden soll. Durch die selbstständige Entscheidungsfreiheit von beispielsweise Städten oder Gemeinenden wird zudem der langsame und komplizierte Regierungsapparat umgangen und die Kreativität gefördert. In Hinsicht auf ein bestimmtes Problem einer Gemeinde werden eventuell Entscheidungen getroffen, die nicht der ökonomischen Richtlinie einer großen Regierung folgen, statt dessen aber lokal die Lebensqualität erhöhen. Scheer nennt dazu drei Punkte, die wichtig für den Durchbruch erneuerbarer Energien sind:[199]

- Breit gestreute unabhängige Verfügbarkeit statt Konzentration auf wirtschaftliche Standorte
- Politische Dezentralisierung statt Homogenisierung von Markt und Institutionen
- Stimulierung autonomer Investoren statt staatlicher Inverstitionsplanung.

4.1.6.7 Arbeitsmaterial zum Thema „Wird Strom zum Luxusgut?“

Einstieg

Meinungslinie

An der Tafel wird eine horizontale Linie gezogen. Ganz links wird notiert „Mit Energie versorgt zu sein, ist mir sehr wichtig“. Ganz rechts wird angeschrieben „Immer Energie zu haben, bedeutet mir nicht sehr viel“. Die SchülerInnen stehen auf und markieren ihre Position mit einem Kreuz auf der Linie. Das Tafelbild dient als Diskussionsgrundlage: Könnte man in Deutschland wirklich auf Strom verzichten, wenn man wollte? Wie viel wären wir bereit für Energie zu zahlen? Wie viel könnten wir für Strom zahlen?

Ölhandel

Es werden dreimal so viele Zettel benötigt wie es SchülerInnen in der Klasse gibt. Auf ein Drittel der Zettel wird ein schwarzer Kreis gemalt. Dann werden die Zettel gemischt und verdeckt verteilt. Jeder Schüler erhält drei Zettel. Es wird erklärt, dass alle SchülerInnen mit drei Kreisen eine 1 bekommen, alle mit 2 Kreisen eine 2, alle mit einem Kreis eine 3, alle mit keinem Kreis eine 4 (Note).

Je nach Klasse werden vielleicht aufgrund dieser Ungerechtigkeit Proteste aufkommen. Es wird den SchülerInnen eine Möglichkeit aufgezeigt, wie sie ihre Noten verbessern können: Es ist erlaubt die Karten der anderen Mitschüler zu „ertauschen“ oder den MitschülerInnen abzukaufen. Schnell wird sich zeigen, dass niemand seine gute Position aufgeben will.
Es wird die Verbindung zum Erdölvorkommen gezogen: Nicht alle Länder haben gleich viel Öl, mache sind durch natürlichen Zufall im Vorteil. Auf der einen Seite soll das Weltvorkommen an Erdöl geteilt werden, auf der anderen Seite will ein Land seinen Vorteil nicht aufgeben.

Arbeitsaufträge

Steigende Energiepreise

Die SchülerInnen werden gebeten ihre Eltern nach den jetzigen Energiepreisen zu fragen und herauszufinden, wie viel ihre Eltern vor zehn Jahren für Strom bezahlt haben. Im Plenum werden die Ergebnisse zusammengetragen. Es wird darüber diskutiert, warum die Energie teurer geworden ist.

Schreibgespräch

Auf großen Papierbögen werden in der Mitte „steile Thesen“ notiert. Ein Beispiel wäre: „Wer zu wenig Geld hat, um sich Strom zu leisten, muss mehr arbeiten“. Die Plakate werden im Klassenzimmer ausgelegt. Die SchülerInnen gehen mit einem Stift im Raum umher und nehmen Stellung zu den Aussagen, indem sie kurze Statements daneben schreiben. Weitere Schüler können zu dem neu geschriebenen Stellung nehmen und so weiter. Aussagen dürfen durch Pfeile verbunden werden. Sprechen ist dabei streng verboten!

A12: Energie in der Dritten Welt

Vor allen in den Entwicklungsländern herrscht Energieknappheit. Weltweit haben 2,2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu moderner Energie.
In den Entwicklungsländern wird die meiste Energie über Biomasse gewonnen. Interpretiere die folgende Abbildung in Hinsicht auf diese Fragen:

a. Wie wird das in Afrika aussehen, wenn die Menschen mit Biomasse heizen?
b. Was für Probleme können auftreten, wenn in einem halbwegs geschlossenen Raum auf offenem Feuer gekocht wird? Welche Auswirkungen hat das auf lange Sicht?

Äthiopien

Erdöl 6%

Wasser 1%

Biomasse 93%

Diskutiert folgende Abbildung zu zweit!

a. Es ist ungerecht, wenn Menschen die viel weniger verdienen genauso viel für Strom bezahlen müssen wie reiche Leute!
b. Solange die Menschen in der Dritten Welt keinen Strom haben, werden sie sich auch nicht entwickeln können!
c. Wenn jeder nur eine Stunde am Tag weniger Fernsehen würde, könnte man einen großen Teil Äthiopiens mit elektrischer Energie versorgen!
d. Die Länder der Dritten Welt leiden besonders unter den Auswirkungen des CO_2-Ausstoßes, weil sie auf offenem Feuer kochen. Und das obwohl sie nur einen winzigen Bruchteil zum weltweiten CO_2-Ausstoß beitragen!

A13: Öl-Welt

Öl ist auf der Welt sehr ungleichmäßig verteilt. Die folgende Tabelle zeigt die größten Ölvorkommen. Mache in der Landkarte sichtbar, wo Erdöl vorkommt!

Land	Mrd. t
Naher Osten	93,1
Ferner Osten	5,2
Europa	2,6
GUS	10,6
Afrika	10,3
Nordamerika	27,3
Mittel-/Südamerika	15,4
Welt	164,5

4.1.6.8 Literaturempfehlungen „Energie und Gesellschaft“

[A] Baerns, M., Behr, A., Brehm, A., u.A., Technische Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.

[B] Bührke, T., Wengenmayr, R. (Hg.): Erneuerbare Energie, 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2010.

[C] Dow, K., Downing, T. E., Weltatlas des Klimawandels, EVA, Hamburg, 2007.

[D] Ernst, S., Engele, Ä., Sozialethik konkret, Kösel, München, 2006.

[E] Kreß, H.: Medizinische Ethik, 2. Auflage, Kohlhammer, Stuttgart, 2009.

[F] Lienkamp, A.: Klimawandel und Gerechtigkeit, Schöningh, Paderborn, 2009.

[G] Lübbe, H. (Hg.): Fortschritt der Technik, R. v. Decker’s Verlag, Heidelberg, 1987.

[H] Ott, Konrad: Umweltethik, Junius, Hamburg, 2010.

[I] Petermann, J. (Hg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert, 3. Auflage, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[J] Richter, D.; Energie und Umwelt, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 1986.

[K] Riedel, E. (Hg.): Moderne Anorganische Chemie, 2. Auflage, de Gruyter, Berlin, 2003.

[L] Rubner, J.; Das Energie-Dilemma, Pantheon, München, 2007.

[M] RWE AG (Hg.): Energie! Entdecke was die Welt bewegt!, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[N] Scheer, Hermann: Energieautonomie, Kunstmann, München, 2005.

[O] Scheer, Hermann: Der Energethische Imperativ, Kunstmann, München, 2010.
[P] Quaschning, V., Erneuerbare Energien und Klimaschutz, 2. Auflage, Hanser, München, 2010.

4.1.7 Unterrichtsmaterial: Erfahrbare Energie

4.1.7.1 Kompetenzerwerb

Energie – das ist ein durchaus abstrakter Begriff. Trotzdem wird er zurzeit ständig und in verschiedenen Zusammenhängen gebraucht. Gerade die Medien thematisieren „erneuerbare Energien“ die „Energiewende“ und die „Energieknappheit“. Aber was ist das eigentlich, diese Energie von der alle reden? Auch naturwissenschaftlich ist es nicht ganz einfach eine eindeutige Definition zu finden. Wie viel komplizierter ist es dann für SchülerInnen der mit eigenen Worten zu formulieren, was sie unter Energie verstehen!
Aber nicht nur die Definition des Energiebegriffs birgt Schwierigkeiten. Ein weiterer Aspekt ist selbstverständlich der Umgang mit Energie. Wo verbraucht man also Energie und wo könnte man ganz auf Energie verzichten? Wie dosiert man Energie, wo kann man sparen, wo muss man Energie „ausgeben“? Hat jeder gleich viel Energie zur Verfügung?
Diese und weitere Punkte machen es möglich das Thema der erfahrbaren Energie interdisziplinär zu verknüpfen. Neben der im Lehrplan festgelegten Beschäftigung mit dem Thema Energie, soll in diesem Material vor allem die Erfahrungswelt der SchülerInnen angesprochen werden. Es ist weniger von Belang nach dieser Einheit Joule korrekt in Kalorien umrechnen zu können. Hier geht es grundsätzlich um die persönliche Erfahrung und um die Übertragung des Unterrichtsstoffes auf die personale Ebene des einzelnen Schülers.

<u>Voraussetzungen</u>

Grundsätzlich ist es nicht notwendig bestimmte Vorkenntnisse voraus zu setzen, um das vorliegende Material im Unterricht zu behandeln. In der Klasse 8 und 9 wird den SchülerInnen der Begriff Energie schon untergekommen sein. Es wird allerdings nicht auf konkretes fachwissenschaftliches Wissen aufgebaut. Viel mehr bewegt sich diese Einheit auf der Erfahrungsebene der SchülerInnen. Einfache physikalische Definition können mit Hilfe des Materials eingeführt oder wiederholt werden.

<u>Lernziele</u>

Teil 1: Energie mit allen Sinnen

Energie fühlt, hört, riecht und sieht man jeden Tag. Aber erfahren SchülerInnen das auch so? Ist den SchülerInnen bewusst, was alles Energie ist, wie sich Energie zeigen kann und wo die „gewonnen“ Energie her kommt, bzw. wo die „verbrauchte“ Energie hingeht?

In dieser Einheit stehen folgende Lernziele im Fokus. Die SchülerInnen sollen:

- eine selbst formulierte Definition von Energie aufstellen können.
- den Begriff der Energieerhaltung erläutern können.
- den Begriff der Energieerhaltung in Zusammenhang zum Begriff der Energiegewinnung bringen können.
- zu verschiedenen Sinneswahrnehmungen beispielhafte Energie-Effekte nennen können.

Teil 2: Kann man Energie essen?

Diese Frage kann man auf zwei verschiedene Arten verstehen. Das naheliegest ist wohl die Frage nach dem Energiehaushalt des Körpers. Wie nimmt also der Körper Energie auf, wie verstoffwechselt er die Energie?

Zum anderen tritt mittlerweile der Begriff der Biomasse immer mehr in den Vordergrund. Kann man Energie essen? Die Frage kann auch so interpretiert werden: Kann man anstatt Biomasse zu verbrennen diese auch essen?

Beide Aspekte werden in diesem Kapitel behandelt. Folgende Lernziele stehen hier im Vordergrund. Die SchülerInnen sollen:

- erklären können, welche Angaben auf den Nahrungsmitteln stehen und was diese mit Energie zu tun haben.
- den Begriff Energiebilanz erläutern können.
- Nahrungsmittel als Energiespeicher benennen können.
- den Begriff Biomasse sowie die Entstehung von Biomasse erklären können.
- die Wichtigkeit von Lebensmitteln und Energie gegeneinander abwägen können.
- den Begriff der Verantwortung und des kategorischen Imperativs erklären können.
- den Begriff der Verantwortung mit der Verbrennung von Biomasse in Verbindung bringen können.
- eine persönliche Stellungnahme zum Thema „Nahrungsmittel verbrennen“ formulieren können.
- erklären können, was man unter ökologischer Ethik und Nachhaltigkeit versteht.

Teil 3: Ein Tag ohne Energie

Wie schon gesagt: Wir Deutschen erleben Energie jeden Tag. Es ist fast unmöglich in Deutschland ohne Energie zu leben, bzw. der Energie für einen Tag aus dem Weg zu gehen. Natürlich arbeitet unser Körper mit Energie. Aber davon abgesehen: Auf wie viel Energie können wir mit welchen Konsequenzen verzichten?

In diesem Kapitel geht es vor allem um die Frage des Energiebedarfs verschiedener Gesellschaften und schließlich auch um den persönlichen Energieverbrauch. Folgende Lernziele stehen primär im Vordergrund:

Die SchülerInnen sollen nach dieser Einheit:

- den Begriff des Energiebedarfs erläutern und verschiedene Angaben zum Energiebedarf interpretieren können.
- den Begriff der Kilowattstunde erklären können.
- in groben Zügen wiedergeben können, dass der Energiebedarf verschiedener Länder auf unterschiedlicher Weise gedeckt wird.
- nennen können, welche ihrer persönlichen Aktivitäten Energie kosten.
- Möglichkeiten zum Energiesparen aufzählen und bewerten können.
- erklären können, was es bedeutet aus Pflicht zu handeln und eine Stellungnahme dazu formulieren können.

4.1.7.2 Teil 1: Energie mit allen Sinnen

Was ist eigentlich Energie?

Allgemein versteht man im naturwissenschaftlichen Sinne unter Energie, die Fähigkeit eines Systems Arbeit zu verrichten. Ob das eine zufriedenstellende Beschreibung für SchülerInnen ist, ist wohl fraglich. Selbst wenn der Begriff der Arbeit vorher erläutert wurde, ist es nicht so einfach der Energiedefinition zu folgen. Der Begriff der naturwissenschaftlichen Arbeit taucht in der Wirklichkeit der SchülerInnen nicht auf. Der Begriff der Energie hingegen schon.

Darum ist es wichtig einen persönlichen Bezug zu schaffen, ehe man den Begriff Energie wie selbstverständlich behandelt.

Grundsätzlich sollten jedoch die folgenden Begriffe aber naturwissenschaftlich geklärt sein: Arbeit, Leistung, Energie.

Arbeit

Physikalische Arbeit kann verschiedene Formen annehmen. Grundsätzlich wird dann Arbeit verrichtet, wenn eine Kraft entlang einer Strecke auf einen Körper wirkt. Wenn also ein Bäcker Brotteig knetet verrichtet er Arbeit, es wirkt eine Kraft auf den Körper (Teig) und zwar entlang einer Strecke, die in diesem Fall nicht linear ist. Diese Art von Arbeit wird auch mechanische Arbeit genannt. Arbeit hat das Formelzeichen W (vom englischen work) und trägt die Einheit Joule. Ein Joule gibt also an, wie viel kg welche Strecke bezogen auf die Zeit zurückgelegt haben.

Energie

Energie ist in gewisser Weise die gespeicherte Arbeit. Wenn ein System viel Energie gespeichert hat, kann es viel Arbeit verrichten. Hat ein Bäcker viel Energie, kann er viele Brote kneten. Ein muskelbepackter Mann mit viel Energie wird vielleicht ein Auto ziehen können, wohingegen ein kleines Kind mit weniger Energie seine Probleme mit dieser Aufgabe haben wird. Es gilt also: Je mehr Energie, desto mehr Arbeit kann verrichtet werden. Energie hat das Formelzeichen E.

Leistung

Die Leistung gibt an, in wie viel Zeit wie viel Arbeit errichtet wurde. Sie gibt also Auskunft darüber, wie viel Energie pro Zeit verbraucht wird. Dieses Prinzip ist zum Sprichwort geworden: Gute Leistung! So beglückwünscht man beispielsweise jemanden, der in der Stunde viel mehr Brote geknetet hat, wie ein anderer. Die Leistung hat das Formelzeichen P (vom Englischen power).

Energieerhaltung

Energieverbrauch und Energiegewinnung sind eigentlich völlig missverstandene Begriffe. Wie man aus der Physik weiß, kann Energie im eigentlichen Sinne nicht gewonnen oder verbraucht werden. Energie kann nur in eine andere Form umgewandelt werden. Somit bleibt die Energiebilanz quasi immer gleich.

Bei der Erzeugung von Strom aus Windkraft, wird Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt. In Geothermalen Kraftwerken wird Wärmeenergie in elektrische Energie umgewandelt. Das Benzin liefert Bewegungsenergie aus chemischer Energie.

Trotz allem werden die Begriffe „Energiegewinnung“ und „Energieverbrauch“ umgangssprachlich benutzt und es ist nicht sinnig neue Begriffe einzuführen, die der Erfahrungswelt der SchülerInnen fremd sind. Trotzdem muss an dieser Stelle dringend geklärt werden was Energiegewinnung wirklich heißt: Energiegewinnung ist das Umwandeln einer Energieform in eine andere Form, die der Mensch nutzen kann. Wärmeenergie kann viel schwerer genutzt werden, als elektrische Energie. Solaranlagen machen beispielsweise aus den schwer nutzbaren Sonnenstrahlen Strom, der im Haushalt für alles Mögliche gebraucht werden kann.

Wo uns Energie begegnet

Energie – Es ist schwer zu begreifen, was Energie ist, vor allem für SchülerInne der Mittelstufe. Dabei kann man Energie mit allen Sinnen erfahren.

Energie fühlen

Wärmeenergie oder auch thermische Energie ist für den Menschen lebensnotwendig. Der Körper hat eine Betriebstemperatur von ca. 36°C. Heizen ist mittlerweile ein ökonomisches Problem geworden. Wärme begegnet uns ständig, jeden Tag.

Thermische Energie entsteht im Grunde durch Bewegung. Die Atome oder Moleküle eines Stoffes befinden sich in ständiger Bewegung. Je wärmer ein Stoff, desto höher die Bewegung. Umgekehrt

bedeutet das: Wenn man einen Stoff erwärmt, fangen die Atome an sich vermehrt zu bewegen. Die zu messende thermische Energie ist höher als zuvor. Das erklärt auch, warum manche Materialien kälter erscheinen als andere. Metalle beispielsweise sind in der Lage Wärme lange zu speichern, außerdem können sie Wärme leiten.

Energie hören

Energie hören klingt auf den ersten Blick verwunderlich. Trotzdem ist jedes gesprochene Wort gleichzeitig Energie. Die Schallwellen die zu unseren Ohren gelangen sind gleichsam Wellen als auch schwingende Teilchen. Der Schall bewegt sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit weiter. Die Schallgeschwindigkeit beträgt in 20°C warmer Luft 343 m/s.

Allgemein spricht man bei der vom Schall transportierten Energie von Schallenergie. In aller Regel kennt man das Sprichwort „das Trommelfell platzt“ wenn etwas zu laut ist. Tatsächlich befördert der Schall auch Druck, der auf Materie einwirken kann. Hält man die Hand an die Membran einer Musikbox, kann man den Schall nicht nur hören, sondern auch fühlen.

Energie riechen

Energie riechen kann man nur indirekt. Geruch entsteht dann, wenn Moleküle und Atome an die Riechschleimhaut gelangen und von Rezeptoren wahrgenommen werden. Natürlich transportieren Geruchsstoffe ebenfalls Energie in Form von Bindungsenergie. Aber das wird für SchülerInnen nicht sehr naheliegen sein.

Indirekt kann man allerdings die Auswirkungen von Energie riehen. Wenn etwa ein Feuer verbrennt nehmen wir die Verbrennungsprodukte war. Wenn man verfaultes Obst riecht, dann nimmt man die Produkte von chemischen Prozessen wahr. Was immer man riecht, es ist immer das Produkt einer Reaktion, sei sie natürlicher Art oder synthetischer. Und alle Reaktionen haben eine Energiebilanz.

Energie sehen

Elektrische Energie ist auf der einen Seite komplex aber auf der anderen Seite auch gut sichtbar. Blitze sind wohl das klassische Beispiel für sichtbare Energie. Dabei laden sich die Wassertropfen in der Luft elektrostatisch auf, wodurch elektrische Ströme fließen. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Wolkenblitzen und Erdblitzen.

Blitze entstehen zwischen Wolken, weil die Wolken unterschiedliche Potentiale besitzen, die durch einen Blitz ausgeglichen werden. Liegt zwischen Erde und Wolke ein unterschiedliches Potential vor, entstehen Erdblitze.

Blitze haben eine Energie im Giga-Watt Bereich. Manchmal kann man aber schon bei kleineren elektrischen Entladungen sehen, wie der Funke überspring.

4.1.7.3 Arbeitsmaterial zum Thema „Energie mit allen Sinnen“

Einstieg

Tagebuch

Die SchülerInnen erhalten den Auftrag einen Brief an einen Freund zu verfassen, in dem sie ihren gestrigen Tagesablauf schildern (nichts auslasse!). Dann wird angestrichen, für welche Tätigkeit Energie benötigt wurde. Der Brief kann später auch für AA 6 verwendet werden.

Stehparty

Es wird eine offene Frage zum Thema Energie gestellt wie etwa: Woran denkst du als erstes, wenn du „Energie“ hörst? Glaubst du, dass du viel Energie brauchst? Oder auch: Was ist für dich eigentlich „Energie“. Die SchülerInnen stehen auf und gehen im Raum umher bis sie sich in Zweiergruppen gefunden haben. Es werden zwei bis drei Minuten gestoppt in denen sich die SchülerInnen kurz über die Frage austauschen sollen. Dabei ist darauf zu achten, dass jeder zu Wort kommt, es muss den SchülerInnen also die Kürze der Zeit bewusst sein. Nach zwei Minuten ertönt ein Signal (z.B. Klatschen). Die SchülerInnen suchen sich einen neuen Gesprächspartner, besprechen nochmal dieselbe Frage und lernen andere Meinungen kennen. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden. Zwischendurch kann auch die Frage variiert werden.

Definition

Jeder Schüler notiert auf einem Zettel seine persönliche Definition von Energie. Die Zettel werden anonym abgegeben und aufgehängt. Die SchülerInnen bekommen etwas Zeit alle Definitionen durchzulesen. Nach der Besprechung des naturwissenschaftlichen Begriffes Energie, kann darauf zurück gekommen werden.

Mind Map

Erstelle ein Mind Map zum Thema: Was kann man alles mit Energie machen? Wozu braucht man Energie?

Arbeitsaufträge

Physikalische Grundbegriffe

Die Klasse wird in Gruppen zu je drei SchülerInnen aufgeteilt. Jedes Mitglied einer Gruppe erhält einen anderen Streifen aus dem Text. Nach einer Stillphase, in der sich jeder Schüler mit seinem Fachbegriff auseinander setzen kann, erklären sich die SchülerInnen gegenseitig ihre Begriffe. Dabei können Leitfragen hilfreich sein:

- Welche Einheit und welches Formelzeichen hat der Begriff?
- Wie hängen die Begriffe untereinander zusammen?

A1: Alt Bekanntes aus neuer Sicht

Die Begriffe Arbeit, Leistung und Energie werden dir sicherlich bekannt sein. Vielleicht kennst du sie aus dem Physikunterricht, vielleicht hast du sie schon einmal zu hause gehört, wenn es um elektronische Geräte ging. Aber was bedeuten diese Begriffe eigentlich? Formuliere hier eine Definition der drei Begriffe mit eigenen Worten!

1. **Arbeit**

2. **Leistung**

3. **Energie**

Aber Warum eigentlich? Was soll das bringen, diese Begriffe zu kennen? Formuliere einen kurzen Text, in dem du einem Freund oder einer Freundin erklärst, warum es sinnvoll ist der Begriffe Arbeit, Leistung und Energie zu kennen!

A2: Energie hat viele Gesichter

Wahrscheinlich hast du heute schon Energie benutzt. Liste auf, für was du heute schon Energie gebraucht haben könntest!

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Wie dir bestimmt schon aufgefallen ist, handelt es sich um verschiedene Arten von Energie. Nicht alle sind warm und nicht alle sorgend dafür, dass sich etwas bewegt. Finde Überschriften für die Begriffe in deiner Liste und notiere sie unter der gleichen Nummer!

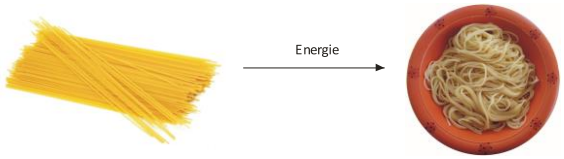
1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Die Erfindung des elektrischen Stroms hat das Leben sehr viel bequemer gemacht. Allerdings können nicht alle Menschen auf der Erde auf Strom zugreifen. Vor allen in vielen Ländern Afrikas gibt es keine Stromleitungen. Für folgende Dinge verwenden wir elektrischen Strom. Notiere, wie man die Aufgaben auch ohne Strom erledigen könnte!

1. **Kochen:** _____
2. **Telefonieren:** _____
3. **Wäsche waschen:** _____
4. **Auto fahren:** _____
5. **Fernsehen:** _____
6. **Lebensmittel kühlen:** _____
7. **Musik hören:** _____
8. **Heizen:** _____

A3: Woher kommt die Energie und wo geht sie hin?

Energie entsteht nicht einfach so. Mit der Energie ist es wie mit einem Kochrezept. Trockene Spaghetti sind nicht gerade lecker. Um eine essbare Mahlzeit daraus zu machen, muss man sie kochen. Dazu braucht man Energie, der Herd braucht schließlich Strom. So werden die trockenen, ungenießbaren Spaghetti in eine essbare Form umgewandelt.



So wie die gekochten Spaghetti nicht aus dem Nichts entstehen, so ist es beispielsweise auch mit unserem Strom. Unter Energiegewinnung versteht man, wenn eine Energieform, die man nicht gut verwenden kann in eine nutzbare Energieform umgewandelt wird. Sonnenstrahlen kann man beispielsweise nicht so gut gebrauchen. Man benötigt ein Gerät (etwa eine Solarzelle) die aus den Sonnenstrahlen Strom macht. Strom ist wie gekochte Spaghetti. Man kann ihn gut verwenden.
Genauso verschwindet die Energie nicht einfach. Die Spaghetti liefern Energie für den Körper. Sie werden in Energie umgewandelt, die der Körper verwenden kann. So ist es auch mit Strom. Steckt man beispielsweise einen Toaster in die Steckdose, verschwindet der verwendete Strom nicht einfach, sondern wird zu Wärme und das Toast wird braun. Dieses Prinzip nennt man Energieerhaltung.
Formuliere in eigenen Worten, worum es sich bei den folgenden drei Begriffen handelt!

1. **Energiegewinnung:** _____
2. **Energieverbrauch:** _____
3. **Energieerhaltung:** _____

Was ist dein Lieblingsessen? Überlege mit deinem Nachbarn zusammen, an welchen Stellen man bei der Zubereitung deines Leibgerichts Energie aufwenden muss! Um welche Form von Energie handelt es sich? Wo kommt sie her und wo geht sie hin?

A4: Energie für alle Sinne

Wie wir wissen, begegnet uns Energie ständig. Aber kann man die Energie auch mit allen Sinnen genießen? Überlege dir, in welcher Form dir Energie begegnen muss, damit du sie wahrnehmen kannst!

1. **Energie fühlen:** _____
2. **Energie hören:** _____
3. **Energie riechen:** _____
4. **Energie sehen:** _____

Es gibt verschiedene Formen von Energie. In der nächsten Tabelle sind einige Beispiele eingetragen. Finde zu den Überbegriffen Beispiele, die du auch schon erlebt hast!

Energieform	Beispiel
Wärmeenergie	
Lichtenergie	
Bewegungsenergie	
Schallenergie	
Chemische Energie	
Elektrische Energie	
Höhenenergie/Lageenergie	

4.1.7.4 Teil 2: Kann man Energie Essen?

Nahrungsmittel als Energieträger

Auf unseren Nahrungsmitteln findet man Angaben in kcal und kJ. Besonders interessant sind diese Angaben für Menschen, die im Begriff sind abzunehmen. Der menschliche Körper verbraucht im Verlauf eines Tages eine bestimmt Menge Energie. Diese Menge kann sich erhöhen, wenn der Mensch zum Beispiel Sport treibt. Über die Nahrung nimmt der Mensch eine bestimmte Menge Energie auf. Unter Energiebilanz versteht man die Differenz zwischen umgesetzter und zugeführter Energiemenge. Ist die Bilanz positiv, hat die Person mehr Energie zugeführt als verbraucht wurde. Bei einer negativen Energiebilanz werden körpereigene Energiereserven angebrochen, es werden also Fettvorräte abgebaut. Darum wird bei vielen Diäten geraten die Menge an kcal zu zählen, die man aufnimmt um eine negative Energiebilanz zu erreichen.

Wie gesagt kann die umgesetzte Energiemenge durch sportliche Aktivitäten erhöht werden. Unter Grundumsatz hingegen versteht man die Energiemenge, die der Körper bei völliger Ruhe zur Erhaltung der Lebensfunktionen benötigt.

Um die Energieumwandlung im menschlichen Körper und anderen lebenden Organismen zu messen und zu beobachten, hat sich ein eigenes Forschungsgebiet entwickelt, die Bioenergetik. Sie

betrachtet den Energiehaushalt des Körpers unter dem Aspekt der Energiewirtschaft, -umwandlung und -nutzung.

ATP - Ein Energiespeicher

ATP ist die Abkürzung für das Nukleotid Adenosintriphosphat, das in den meisten Zellen die Aufgabe der Energiespeicherung übernimmt. Folgende Abbildung zeigt seine Molekülstruktur:

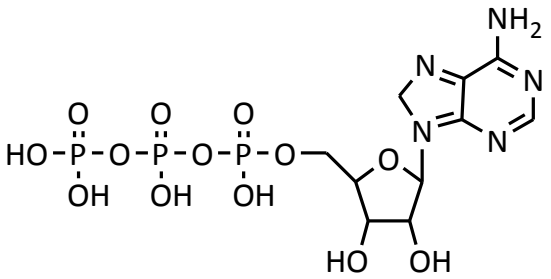


Abb. 188: ATP

Wenn Energie benötigt wird, wird ATP aus anderen Substanzen synthetisiert. Die Zellen brauchen vor allem deshalb Energie, weil in ihnen Arbeit in Form von chemischer, osmotischer oder mechanischer Arbeit geleistet werden muss. ATP enthält drei Bindungen zu Phosphaten, die sehr energiereich sind. Durch Enzyme können diese Bindungen gespalten werden. Dabei entsteht zunächst ADP (Adenosindiphosphat) mit zwei Phosphatbindungen und schließlich AMP (Adenosinmonophosphat) mit einer Phosphatgruppe. Die folgende Abbildung zeigt den Vorgang der Kettenverkürzung schematisch. Bei der Abspaltung der Phosphatgruppen entsteht eine Menge Energie. Pro Bindung werden 32,3 kJ/mol frei. Diese Energie wird verwendet um die zellurären Vorgänge am Laufen zu halten. Dazu zählen zum Beispiel die Synthese wichtiger Moleküle oder auch der Transport durch die Zellmembran.

Erstaunlich ist, wie viel ATP in einem menschlichen Körper täglich auf- und wieder abgebaut wird. Ein 80 kg schwerer Mensch baut im Laufe eines Tages 40 kg ATP auf, das auch sofort wieder verbraucht wird. Das entspricht einer Menge von 10^{25} Molekülen. Bei anstrengender Arbeit kann der ATP Umsatz bis zu 0,5 kg/min betragen.

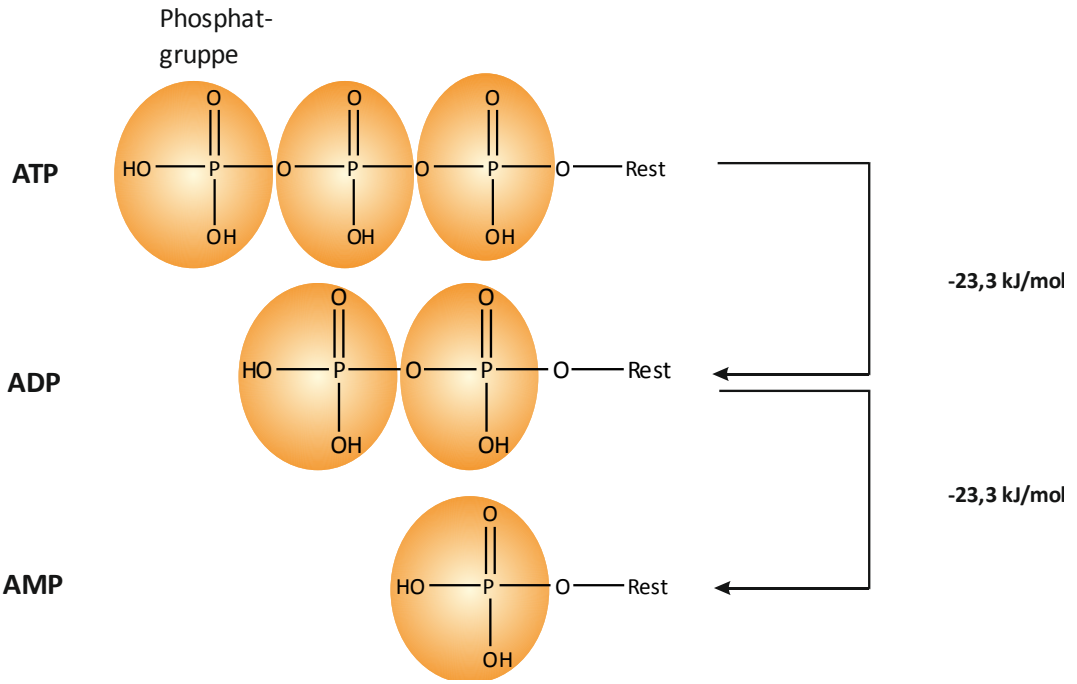


Abb. 189: Von ATP zu AMP

Biomasse als Nahrungsmittel und Energieträger

Abgesehen davon, dass Menschen Nahrungsmittel aufnehmen um ihren Energiehaushalt zu versorgen, werden seit Neustem auch Nahrungsmittel speziell angebaut, um sie zu verbrennen und aus ihnen industriell anwendbare Energie zu gewinnen.

Was ist Biomasse?

Biomasse bezeichnet zunächst eine Masse an organischem Material. Grundsätzlich zählen zur Biomasse alle Lebewesen, abgestorbenen Lebewesen und alle organischen Stoffwechselprodukte. Tiere und Menschen sind allerdings nur in der Lage neue Biomasse aus schon vorhandener Biomasse umzuwandeln. Sprich: ein Mensch muss Biomasse essen, sonst wird nichts verstoffwechselt. Pflanzen hingegen sind in der Lage aus CO_2 und Sonnenlicht Kohlenhydrate und somit neue Biomasse aufzubauen, wie folgende Abbildung zeigt:

$$H_2O + CO_2 + \text{Hilfsstoffe} + \text{Energie} \longrightarrow \underbrace{C_kH_mO_n}_{\textbf{Biomasse}} + H_2O + O_2 + \text{Stoffwechselprodukte}$$

Abb. 190: Stoffwechsel einer Pflanze

Die Biomasse, die dazu genutzt wird um daraus Energieträger zu gewinnen, ist sehr vielfältig. Dazu zählen vor allem:

- Bäume (Holz)
- Abfälle aus der Forstwirtschaft
- Bioabfall
- Halmgutartige Biomasse (Stroh, Gräser)
- Speziell angebaute Energiepflanzen (Raps, Mais,….)

Produkte aus Biomasse

Es gibt verschiedene Produkte, die man aus Biomasse herstellen kann. Dazu gehören vor allem Bioöl, Biodiesel, Bioethanol, BtL-Kraftstoffe und Biogas.

Bioöl

Um Bioöl herzustellen, kommen über 1000 verschiedene Ölpflanzen in Frage. Vorwiegend wird Rapsöl, Sojaöl oder Palmöl hergestellt. Dabei wird aus den Samen der Pflanzen das Öl herausgepresst. Die Rückstände werden als Tierfutter verwendet. Grundsätzlich müssen moderne Motoren umgerüstet werden, damit sie mit Bioöl laufen. Es werden zwar Autos verkauft, die einen speziellen Motor besitzen, aber der Marktanteil dieser Fahrzeuge ist sehr gering.

Biodiesel

Biodiesel hat ähnliche Eigenschaften wie herkömmliche Dieselkraftstoffe. Als Basis dient auch Pflanzenöl. Folgende Abbildung zeigt schematisch die Darstellung von Biodiesel:

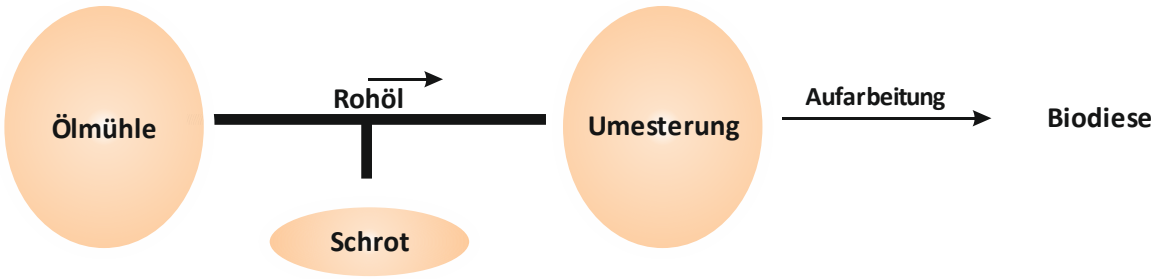


Abb. 191: Synthese von Biodiesel

Wie bei der Produktion von Bioöl werden zunächst ölhaltige Früchte in einer Mühle zerkleinert und das Öl wird vom Schrot getrennt. Nach Zugabe von Methanol findet eine Umesterung statt. Im Falle des Rapsöls entsteht Rapsölmethylester (RME). Die Gesamtgleichung ist in Abb. 192 zu sehen.

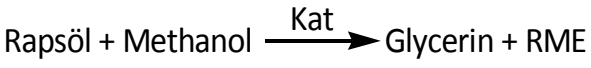


Abb. 192: Darstellung von RME

Biodiesel wird als Ersatzkraftstoff für fossilen Diesel verwendet. Die Motoren sollten allerdings dafür freigegeben sein.

Bioethanol

Bioethanol kann man durch Fermentation aus Glukose gewinnen. Als Rohstoffe werden dafür Zuckerrüben, Zuckerrohr oder Getreide verwendet. Folgende Abbildung zeigt die Reaktionsgleichung und die Entstehung von Ethanol.

$$\text{Glukose} \longrightarrow \text{Ethanol} + CO_2$$

Abb. 193: Fermentation von Glukose

Obwohl bei der Reaktion CO_2 freigesetzt wird, ist die CO_2-Bilanz weitgehend neutral, weil die Pflanzen beim Wachsen CO_2 aus der Luft verbrauchen.

Das Zwischenprodukt der Reaktion ist die Maische, die anschließend destilliert wird. So kann man Ethanol mit einer Reinheit bis zu 90% gewinnen. Wie auch bei der Herstellung von Bioöl können die anfallenden Nebenprodukte als Tierfutter verwendet werden.

Bioethanol wird hergestellt, um es in Benzin zu mischen. Dabei gibt eine E-Nummer an, wie viel Prozent Ethanol das Benzin erhält. In Deutschland ist Benzin mit einem Ethanolanteil von E5 üblich. Das Benzin enthält also 5% Ethanol. In Brasilien sind allerdings Motoren weit verbreitet, die sogar mit E85 Benzin fahren können. Allerdings wird in Südamerika auch eine Menge Bioethanol hergestellt.

BtL-Kraftstoffe

BtL- Kraftstoffe, also Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe, bezeichnet man auch als Kraftstoffe der zweiten Generation. Der Vorteil ist, dass sich hierzu verschiedene Rohstoffe wie Stroh, Bioabfälle und auch spezielle Energiepflanzen komplett nutzen lassen, wohingegen bei den bisher genannten Produkten nur die Samen oder Früchte verwendet werden können.

Eins der bekanntesten Verfahren zur Herstellung von Kraftstoffen der zweiten Generation ist die Fischer-Tropsch-Synthese. Als Ausgangsprodukte zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus einem Synthesegas, das aus CO und H_2 besteht, wird vermehrt Biomasse anstelle von Kohle eingesetzt. Die folgende Gleichung zeigt die herkömmliche Herstellung des Synthesegases:

$$\text{Kohle} \xrightarrow{\text{Luft, } H_2O,\ \Delta T} x\text{CO} + y H_2$$

Abb. 194: Synthesegas aus Kohle

Allerdings ist es mittlerweile auch möglich das Synthesegas aus Methan zu gewinnen:

$$CH_4 + 1/2\ O_2 \rightleftharpoons CO + 2H_2$$

Abb. 195: Synthesegas aus Methan

Aus dem Synthesegas können verschiedene Kohlenwasserstoffe mit Hilfe eines Metall-Katalysators erzeugt werden. Diese Verbindungen können als flüssiger Kraftstoff eingesetzt werden. Daher wird diese Synthese auch als Benzin-Synthese bezeichnet. Folgende Abbildung verdeutlicht den Mechanismus an der Metalloberfläche:

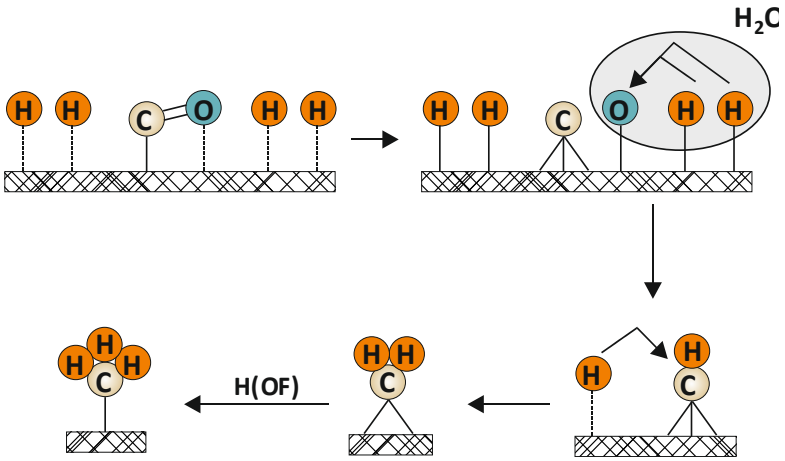


Abb. 196: Abläufe auf der Katalysatoroberfläche (OF)

Es handelt sich also um eine heterogene Katalyse. Die Edukte werden zunächst an der Metalloberfläche absorbiert und schließlich gebunden. Dadurch werden die einzelnen Atome frei beweglich und bewegen sich auf der Oberfläche. Durch Abspaltung von Wasser und durch Abstraktion eines Wasserstoffs der Katalysatoroberfläche (OF) kann schließlich der erste Kohlenwasserstoff entstehen: eine CH_3-Gruppe.

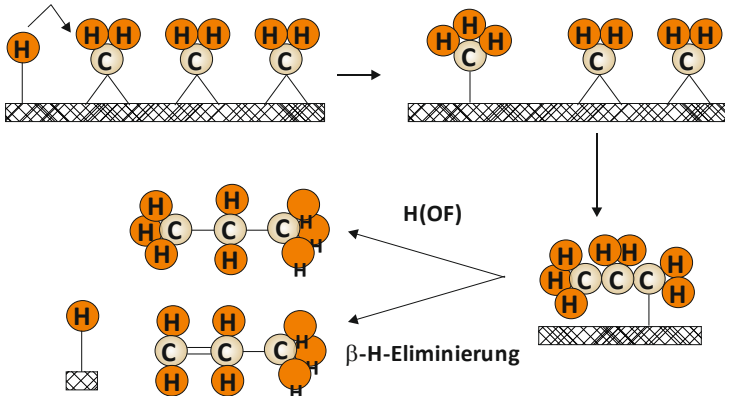


Abb. 197: Bildung von Ketten auf der Katalysatoroberfläche

Es ist aber auch denkbar, dass die Hydrierung (das Aufnehmen von H) nicht abläuft sondern dass sich mehrere CH_2-Gruppen zusammenschließen und Ketten bilden.

So entstehen langkettige Kohlenwasserstoffe, die entweder durch eine Abspaltung von Wasserstoff oder durch Aufnahme von Oberflächen-Wasserstoffatomen zu freien Alkanen oder Alkenen reagieren.
Zusammengefasst kann man folgende Gleichung formulieren:

$$n\,CO + (2n+1)\,H_2 \xrightarrow{Kat} C_nH_{2n+2} + n\,H_2O$$

Abb. 198: Gesamtgleichung der Fischer-Tropsch-Synthese

Biogas

Biogas kann aus Biomasse gewonnen werden, wenn diese mit Hilfe von Bakterien vergärt wird. Folgende Abbildung zeigt den groben Aufbau eines Werks zur Gewinnung von Biogas:

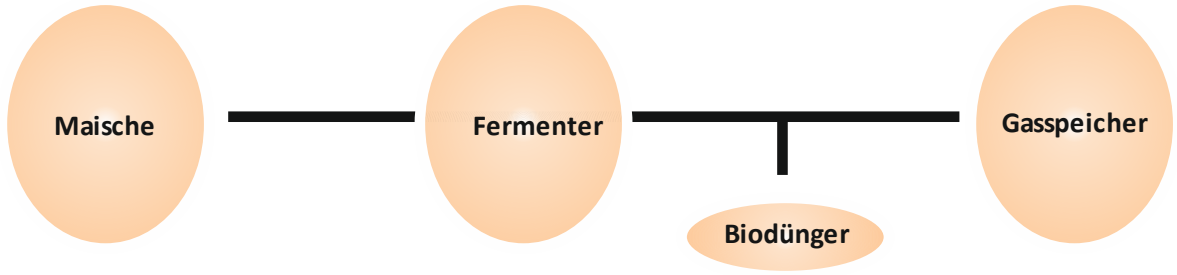


Abb. 199: Biogasanlage

Die Biomasse wird im sogenannten Fermenter unter Sauerstoffausschluss im feuchten Milieu gerührt. So entstehen nach der Vergärung verschiedene Gase: Methan, CO_2, Wasser, Sauerstoff, Stickstoff, Ammoniak, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff. Das Biogas enthält in der Regel zwischen 50 und 75 Prozent Methan und 25 bis 45 Prozent Kohlenstoffdioxid.
Biogas kann in Verbrennungsmotoren eingesetzt oder nach einer weiteren Aufreinigung direkt ins Erdgasnetz eingespeist werden.

<u>Biomasse: Irrglaube und Lösungsversuche</u>

Im Folgenden werden einige Vor- und Nachteile von Biomasseverwertung zur Energieerzeugung aufgelistet. Um eine unvoreingenommene Meinungsfindung zu gewährleisten, wird auf die Bewertung der einzelnen Punkte verzichtet.

Vorteile:

- Im Gegensatz zu anderen alternativen Energie wie der Windkraft, kann man aus Biomasse auch transportable Kraftstoffe gewinnen.

- Drei Tonnen trockener Biomasse entsprechen etwa einer Tonne Erdöl. Wenn man zwei Millionen Quadratkilometer Waldfläche nachhaltig bewirtschaftet, deckt das also den Jahresbedarf der Erdbevölkerung.
- Der Bedarf an Biomasse bietet eine gute wirtschaftliche Perspektive für „Energie-Landwirte“
- Weil Biodiesel staatlich subventioniert wird, ist es kostengünstiger mit Biodiesel zu fahren.
- Zuckerrohr muss nur sehr wenig gedüngt werden.
- Die Internationale Energieagentur sagt voraus, dass Biomasse bis 2025 weltweit zehn Prozent des Kraftstoffs ersetzen kann.
- Es muss eine alternative zum ausgehenden Öl gefunden werden. Biomasse kann Kraftstoffe erzeugen.

Nachteile:

- Obwohl die Pflanzen bei ihrem Wachstum CO_2 aus der Luft aufnehmen, entstehen bei den Prozessen oft genauso viel CO_2. Außerdem wird für den Gewinnungsprozess Energie verbraucht, die oft aus klassischen Quellen kommt. Die Biomasseverbrennung hilft also der Klimaproblematik nicht.
- Er heißt immer, in der dritten Welt würde schon Biomasse zur Energiegewinnung genutzt: Das bedeute meist nur, dass auf offenem Feuer gekocht wird.
- Es sterben jährlich 1,6 Millionen Menschen an der Emission aus Verbrennung von Biomasse und Kohle.
- Zieht man die Steuer ab, sind Kraftstoffe aus Biomasse viel teurer in ihrer Herstellung als fossile Kraftstoffe.
- Zuckerrohr ist eine sehr wasser-intensive Pflanze. Gerade in Südamerika werden riesen Gebiete mit Zuckerrohr bewirtschaftet. Oft hat der Anbau eine Erosion des Bodens zur Folge.
- Für eine Tankfüllung sind 200 kg Mais notwendig. Mit 200 kg Mais kann man einen Erwachsenen ein ganzes Jahr ernähren.
- Die Menge an Biodiesel soll bis 2020 um 17% steigen, dafür ist fast ein Drittel der deutschen Ackerfläche nötig.
- Weil hier in Deutschland der Platz fehlt um Lebensmittel und Energiepflanzen anzubauen, werden in Zukunft die Biolebensmittel aus China importiert, was energetisch völlig unsinnig ist.
- Die Nahrungsmittelpreise werden steigen.
- Rapsöl erzeugt einen zweimal so großen Treibhauseffekt, wie herkömmlicher Diesel.
- Beim Anbau von Biomasse wird mit herkömmlichen Stickstoffdüngern gedüngt. Dabei entsteht auch L_2O (Lachgas), das 300-mal klimaaktiver ist als CO_2.
- Weil nicht mehr auf wirklich biologischen Anbau geachtet wird, werden die Böden übersäuern und die Artenvielfalt zurückgehen.

- Der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung kam zu dem Schluss, dass Kraftstoffe aus Biomasse wenig vielversprechend sind.

Gentechnik gegen den Hunger?

Im Moment wird daran geforscht verschiedene Pflanzenarten so zu modifizieren, dass ihr Zelluloseanteil besser genutzt werden kann. Es werden viele Versprechungen gegeben, welchen Vorteil derart modifizierte Pflanzen haben könnten. Aber diese Vorteile bringen auch Nachteile mit sich.

Hoffnungen in die Gentechnik

- Der Ertrag wird gesteigert.
- Ernteverluste werden verringert, weil virusfreies Saatgut eingesetzte wird.
- Pflanzen werden den Bedingungen ihrer Umgebungen angepasst, so können z.B. auch versalzene Flächen genutzt werden.
- Resistente Pflanzen können in Wüsten angebaut werden oder durch Bodenerosion unbrauchbare Gebiete wieder begrünen.
- Bodenbakterien können verhindern, dass sich Agrargifte weiter ausbreiten und können ökologische Altlasten beseitigen.
- Man wird Tier- und Pflanzenkrankheiten früher erkennen und schnell eindämmen können.
- Die Reifezeit wird verringert und so werden Ernteschäden unwahrscheinlicher.

Bedenken gegen die Gentechnik

- Gentechnik ist etwas für Großbauern und nicht für die Kleinbauern der südlichen Welt.
- Gentechnik ist teuer. Das Saatgut ist für Kleinbauern nicht zu bezahlen.
- Die Entwicklung von speziellen Pflanzen orientiert sich nicht an den Ländern der südlichen Welt sondern an großen Konzernen.
- Durch die nicht zu bezahlenden gentechnischen Produkte und den unangepassten Bedürfnissen wird die soziale Ausgrenzung der ärmeren Länder noch größer. Die Armut der Armen wird noch vergrößert.

Verantwortung und kategorischer Imperativ

Der Begriff der Verantwortung wird heute vermehrt gebraucht. Kinder und Jugendliche erleben in ihrer Entwicklung immer mehr, wie sie Verantwortung für ihr eigenes Handeln übernehmen müssen. Vor allem begegnet ihnen dies allerdings immer dann, wenn sie an „Grenzen“ stoßen. Mit steigendem Alter werden ihnen immer mehr Handlungsspielräume gewährt. Aber jeder Raum hat

von Natur aus Grenzen. Werden diese Grenzen durchbrochen und damit Regeln verletzt tritt oft eine Situation ein, in der sich Heranwachsende für ihr Tun verantworten müssen.

Für das eigene Handeln muss also Verantwortung übernommen werden. Bei dem Verantwortungsbegriff, der aktuell besonders von Hans Jonas geprägt wurde, handelt es sich allerdings in erste Linie um die Bereitschaft Verantwortung zu erkennen und dann auch wahrnehmen zu wollen. Die Beschäftigung mit dem Verantwortungsbegriff fällt damit in den Bereich der Zukunftsethik. Es geht nicht nur darum für vollzogene Handlungen gerade zu stehen, sondern sein Handeln so verantwortlich zu gestalten, dass es Auswirkungen auf die Zukunft hat. Die gegenwärtige Handlung wird also in Hinsicht auf die Zukunft vollstreckt.

Eine zentrale hat dabei die Idee von Verantwortungsfähigkeit. Laut Jonas ist ein Mensch dann als verantwortungsfähig zu bezeichnen, wenn er in der Lage ist sein Wissen und Wollen dazu einzusetzen Wirkungen zu erzielen. Hier geht es also um eine kognitiv-moralische Fähigkeit, die zunächst „Wissen“ und „Wollen“ voraussetzt.

Ein Mensch kann nicht ethisch-moralisch handeln, wenn er nichts von der Sache weiß. Bezogen auf das Problem der Energiegewinnung könnte man sagen, dass sich ein Mensch beispielsweise zunächst faktisches Wissen aneignen muss. Dieses Wissen wird dann in einem weiteren Schritt bewertet. Je nachdem, wie das Wissen bewertet wird, erfolgt ein Wollen oder Nicht-Wollen zur Handlung. Zwischen dem Wollen und Nicht-Wollen und der Handlung können allerdings bestimmte Hemmschwellen dafür sorgen, dass das eine nicht direkt in das andere umgesetzt werden kann. Solche Hemmschwellen können beispielsweise die finanzielle Situation, die Eingebundenheit in ein soziales Netz oder schlicht weg Gewohnheiten sein. Wie man sieht handelt es sich in der Tat um einen komplizierten kognitiven Prozess. In der Realität findet dabei die Aneignung von Wissen auf verschiedenen Wegen statt. Man kann sich fachwissenschaftlich mit Energiepolitik auseinandersetzten, Zeitung lesen, die Nachrichten anschauen oder dem Nachbarn glauben. Im Fall von SchülerInnen wird Wissen ab einem bestimmten Alter vermehrt durch Peers erworben. Die Haltung, also das Wollen oder Nicht-Wollen, wird dann oft an das des Freundeskreises angepasst.

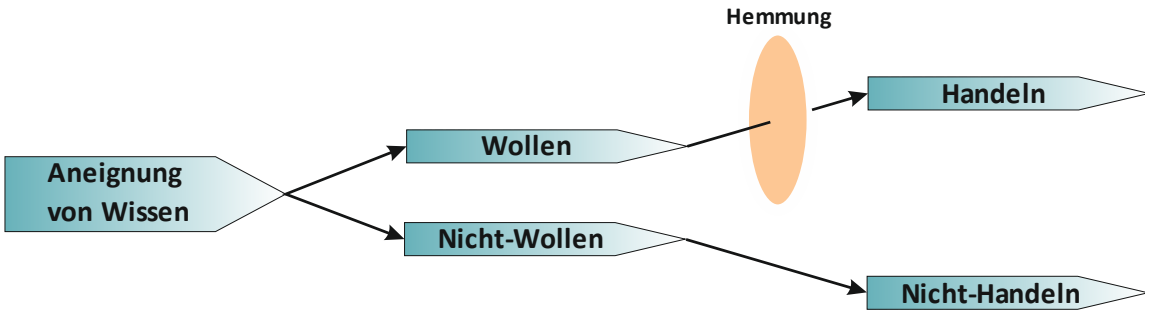


Abb. 200: Kognitiver Prozess bis zum Handeln

Das Schema aus der Abbildung kann anhand eines Beispiels veranschaulicht werden: Bei dem Thema der Biomasse gibt es verschiedene Möglichkeiten sich wissen anzueignen. Man nehme an ein Schüler oder eine Schülerin hat zum einem im Unterricht etwas über Biomasse gelernt, zu Hause

von der neuen Pelletheizung gehört, etwas in der Zeitung gelesen und vieles mehr. All diese Informationen zusammen bilden das Wissen. Aufgrund dieses Wissens wird sich die Schülerin oder der Schüler entscheiden, ob eine eventuelle Handlung gewollt ist oder nicht. Sollte man sich also gegen den Anbau von Genmais aussprechen? Sollte man importierte Produkte kaufen? Sollte man ein Auto mit Bioethanol fahren? Nach dieser Entscheidung folgt die Handlung oder Nicht-Handlung.
Dieser Prozess wird natürlich unbewusst durchschritten, aber schließlich ist er für verantwortliches Handeln notwendig. Unverantwortlich wird immer dann gehandelt, wenn die Stufe der Wissensaneignung übersprungen wurde und Handlung aus anderen Motiven heraus vollzogen wird.
Die Verantwortung selbst wird von Jonas natürlich auch definiert. Dabei handelt es sich um die Determination des Handelns. Das Handeln wird von der Sorge für Dinge bestimmt, die im eigenen Machtbereich liegen. Die Sorge um das Haustier liegt im Machtbereich der SchülerInnen. Es liegt also sozusagen in ihrer Macht mit dem Tier verantwortungsvoll umzugehen. Weil das Tier auf die Macht seines Besitzers angewiesen ist, handelt es sich um eine verantwortungsvolle Aufgabe in Bezug auf seinen Besitzer. Auch in Hinsicht auf die Energieversorgung kann demnach Verantwortung definiert werden. Jonas fordert konsequent: „Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden!“. Diesen Imperativ verweist darauf, dass die Menschliche Existenz in der Zukunft von der gegenwärtigen Handlung abhängt. Die Existenz des Menschen ist durch die Entwicklung der Technik und der globalen Umweltproblematik gefährdet. Die Verantwortung wird von Jonas als Möglichkeit eingestuft, die Weiterexistenz trotzdem zu sichern, denn sie beziehe sich in aller Regel nicht auf das eigene sein, sondern auf die Existenz anderer bezogen auf die Zukunft. Die erwarteten und lebenserhaltenden Handlungen beziehen sich also nicht direkt auf die gegenwärtige Position der Handelnden Person, sondern indirekt auf handelnde Personen in der Zukunft.
An dieser Stelle wird ersichtlich, wie wichtig die Generation von Wissen in diesem Prozess ist. Es ist nur kognitiv und mit Empathiefähigkeit möglich, Handlungen so auszurichten, dass die Verbesserungen für die Zukunft erzielen, deren Auswirkungen vielleicht noch nicht einmal am eigenen Leib erfahren werden können. Allerdings ist genau dies der Kernpunkt des kategorischen Imperativs, der von Kant ins Leben gerufen und von Jonas. Der kategorische Imperative verlangt, wie das Zitat von Jonas zeigt, dass es jedermanns kategorische Pflicht ist Bedingungen zu schaffen, die es möglich machen Menschen zu erhalten. Natürlich unterscheidet sich der kategorisch Imperativ Kants von der Definition nach Jonas. Im Zusammenhang mit der Energiethematik und vor dem Hintergrund der Schule wird aber hier auf eine weitere Differenzierung verzichtet.

Ökologische Ethik und Nachhaltigkeit

Warum brauchen wir überhaupt eine ökologische Ethik? Die Antwort liegt auf der Hand: Klimawandel, Artensterben, Bodenvergiftungen, Wasserknappheit, Verknappung fossiler Ressourcen und wachsender Energiebedarf sind nur einige der Schlagwörter. Ökologisch: das

bedeutet in Hinsicht auf unsere Natur und unsere Umwelt. Ein zentraler Begriff der ökologischen Ethik ist die Nachhaltigkeit. Nachhaltigkeit bedeutet, dass ökologische Gesichtspunkte zusammen mit ökonomischen und sozialen Faktoren berücksichtigt werden und das nach Möglichkeit in Hinsicht auf die globalen Auswirkungen. Beim Anbau von Energiepflanzen entscheidet also nicht nur, ab die Pflanzen ökologisch gedüngt werden, sondern auch welches wirtschaftliche Kapital man in Bezug auf die gesellschaftliche Struktur daraus schlagen kann.

Der Begriff der Nachhaltigkeit stammt eigentlich aus der Forstwirtschaft: Es sollen nicht mehr Bäume abgeholzt werden, wie nachwachsen. Durch die Einführung des Nachhaltigkeits-Konzepts als wesentliche Grundlage in der Diskussion einer ökologischen Ethik zeigt sich ein neues Selbstverständnis des Menschen: Man begreift sich fortan als Teil des globalen Kreislaufs und als zugehörig zum Ökosystem. Als Gegenteil des Begriffs der Nachhaltigkeit kann der Begriff der Ausbeute verstanden werden. Die natürlichen Erdölvorkommen etwa haben sich in Jahrmillion angereichert. Abgebaut werden sie nun in etwa einem Jahrhundert. Der Gedanke nur so viel Öl abzubauen, wie wieder regeneriert werden kann, erscheint dabei völlig paradox.

Dennoch spielt Nachhaltigkeit gerade im Bereich der Biomasse-Diskussion eine bedeutende Rolle. Wie oben bereits erwähnt, nimmt der Anbau von Bioenergiepflanzen immer größere Ackerflächen in Anspruch. Zu einer nachhaltigen Konzeption gilt es auch die fortwährende Qualität und Pflege des Ackerbodens zu berücksichtigen.

Ein grundsätzlicher Streitpunkt in der Forschung rund um die ökologische Ethik ist die Frage nach dem Verhältnis von Mensch und Umwelt, also Tieren und Pflanzen. Manche vertreten die Ansicht Tiere und Pflanzen existieren hauptsächlich zur Erhaltung der Menschen. Andere wiederum räumen Tieren und Pflanzen die selbe Daseinsberechtigung ein wie Menschen.

4.1.7.5 Arbeitsmaterial zum Thema „Kann man Energie essen?“

Einstieg

Lebensmittel

Die SchülerInnen werden gebeten verpackte Lebensmittel von zu Hause mitzubringen. Gemeinsam werden die Angaben auf den Rückseiten unter die Lupe genommen.

Biomasse

Der Begriff der Biomasse ist im Folgenden zentral. Daher ist es sinnvoll den SchülerInnen die Chance zur Recherche zu geben (als Hausaufgabe oder in der Stunde). Die SchülerInnen recherchieren in Büchern oder im Internet, was Biomasse eigentlich ist. Im Plenum werden die Ergebnisse gesammelt und eine Gesamtdefinition gefunden.

Arbeitsaufträge

Produkte aus Biomasse

Die Klasse wird in fünf gleich große Gruppen aufgeteilt. Jeweils eine Gruppe erhält einen der kurzen Abschnitte aus dem Text. An der Tafel werden folgende Fragen notiert:

- Wie funktioniert …..?
- Was kann man als Ausgangsmaterial für ……. benutzen?
- Wozu kann man …… gebrauchen?

Die SchülerInnen notieren sich die Fragen und setzen in die Lücken ihr Thema ein. Nachdem die Gruppen untereinander die Fragen beantwortet hat, werden die Gruppen gemischt (Gruppenpuzzle). In jeder neuen Gruppe sollte ein Experte der alten Gruppe sitzen. Nacheinander erklären sich die SchülerInnen ihre Verfahren, wobei jede Frage für jedes Verfahren geklärt werden und im Heft notiert werden soll.

Diskussion: Essen oder Tanken?

Folgende Aussage wird in der Mitte der Tafel notiert: Für eine Tankfüllung sind 200 kg Mais notwendig. Mit 200 kg Mais kann man einen Erwachsenen ein ganzes Jahr ernähren.

Dann wird eine Meinungslinie an die Tafel gezeichnet: Eine horizontale Linie verbindet die weit voneinander entfernt stehenden Begriffe „Tanken“ und „Essen“. Die SchülerInnen bekommen einen kurzen Augenblick Zeit, über die Bemerkung nachzudenken. Dann werden sie aufgefordert aufzustehen und ein Kreuz auf der Meinungslinie zu machen. Eine entsprechende Frage könnte wie folgt lauten: Was ist wichtiger: essen oder tanken?

Die Gesamtstimmung der Klasse wird so festgehalten und kann als Diskussionsgrundlage dienen. Wer möchte darf sich zu seinem Kreuz äußern.

Plenumsdiskussion in Mannschaften

Die Klasse wird in zwei Gruppen aufgeteilt: Pro Biomasse-Verbrennung und Kontra Biomasse-Verbrennung. Die SchülerInnen erhalten dementsprechend eine Liste mit Vor- und Nachteilen aus dem Text. Die SchülerInnen bekommen ausreichend Zeit ihre Argumente durchzulesen und mit ihrem Nachbar zu besprechen. Dann beginnt die Diskussion. Die Gruppen argumentieren immer abwechselnd und versuchen Gegenargumente zu finden. Wenn die Klasse sich als diskussionsträge erweist, kann ein Ball mit ins Spiel gebracht werden, den sich die Gruppen gegenseitig zuwerfen können.

Gentechnik

Nachdem der Begriff im Plenum grob geklärt wurde, kann analog zum vorherigen Arbeitsauftrag mit Informationen aus dem Text verfahren werden.

Dein Energieverbrauch

An dieser Stelle kann man auf den Brief aus der Einstiegsaufgabe zurück kommen. Folgende Fragen können dabei im Vordergrund stehen:

- Vergleiche deinen Brief mit der Abbildung aus A12. Welche Bereiche findest du wieder?
- Welchen Verbrauch könntest du reduzieren?

Ein Tag ohne Energie

Die SchülerInnen bekommen den Auftrag den nächsten Tag so gut wie möglich ohne Energie zu verbrauchen zu verbringen und zu notieren wo geschummelt werden musste. Musste der Schulbus genommen werden? Wurde das Essen auch wenn es kalt war mit Energie zubereitet? Konnte nicht aufs Handy verzichtet werden? Wurde warm geduscht? Eventuell können Alternativen aufgezeigt werden (Fahrrad, Rohkost, Buch statt Fernseher….).
In der nächsten Woche wird besprochen, wer am besten durchgehalten hat.

A5: Speiseplan

Lebensmittel sind Energiespeicher. Auf den Rückseiten unserer Lebensmittel finden wird Angaben darüber, wie viel Energie sie uns beim essen liefern. In der Regel werden die Angaben in kJ (Kilojoule) oder kcal (Kilocalorin) gemacht. Die Einheit Joule kennen wir als Einheit der Arbeit. Die Vorsilbe „Kilo" gibt an, dass es sich um die tausendfache Menge handelt. Ein normal gebauter Mann benötigt etwa 7100 kJ pro Tag. Eine Frau 6300 kJ. Die folgende Liste zeigt eine Zusammenstellung verschiedener Lebensmittel. Stelle für eine Frau und einem Mann einen Speiseplan zusammen, so dass beide die benötigte Menge an kJ zu sich nehmen. Im Speiseplan sollten auf jeden Fall Frühstück, Mittagessen und Abendbrot vorkommen! Notiere den Speiseplan in dein Heft.

Lebensmittel	kJ
Brötchen	1172
Toastbrot/Scheibe	1100
Brot/Scheibe	1050
Blumenkohl/Portion	110
Pilze/100g	100
Erbsen/halbe Dose	1549
Karotten/100g	147
Pommes/kleine Hand voll	1054
Kopfsalat/halben Kopf	59
Tomate/3 Tomaten	80
Apfel	400
Banane	700
Birne	500
Schnitzel	1400
Frikadelle	1010
Schinken/gekocht/Scheibe	237
Schinken/geräuchert/Scheibe	330
Halbes Hähnchen	1800
Hühnerbrust	600
Bratwurst	2300

Lebensmittel	kJ
Mozzarella/3 Scheiben	1072
Ei	368
Honig/Brotaufstrich	120
Konfitüre	100
Schokolade/Tafel	2357
Coca Cola/Glas	187
O-Saft/Glas	197
Kartoffeln/100g	356
Cornflakes/100g	1624
Haferflocken/100g	1633
Reis/Beutel	1543
Salzstangen/Packung	1524

Wichtig zu wissen!!!!!
Energiebilanz: Je nachdem, wie viel kJ man zu sich genommen hat, kann die Energiebilanz negativ oder positiv in Bezug auf den idealen Bedarf sein. Zum Abnehmen sollte man weniger Energie zu sich nehmen wie im Allgemeinen benötigt wird. Dann ist die Energiebilanz negativ!

A6: Biomasse

Der Begriff der Biomasse ist sehr wichtig für die Energieerzeugung. Unter Biomasse versteht man nachwachsende Pflanzen sowie Produkte, die in der Industrie anfallen und pflanzlichen Ursprungs sind. Überlege, was alles zur Biomasse gehören könnte!

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Die Biomasse kann auf verschiedene Arten verarbeitet werden. Dabei entstehen dann auch unterschiedliche Produkte. Trage hier die fünf Hauptprodukte ein, die aus Biomasse gewonnen werden können!

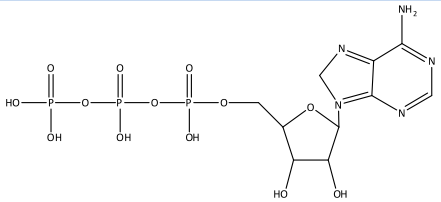
1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Formuliere einen kurzen Text zu folgenden Fragen und bespreche deine Antwort schließlich mit deinem Nachbarn!

1. Wenn ein Bauer statt Lebensmittel sogenannte Energiepflanzen anbaut, damit diese zu Kraftstoffen weiterverarbeitet werden können: Wo ist da das Problem?
2. Findest du es in Ordnung Lebensmittel zu Benzin zu verarbeiten, wenn andere Leute nichts zu essen haben?

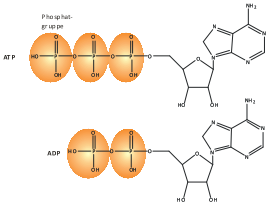
A7: Energie im Körper

Jede Zelle im Körper hat ihren eigenen Energiehaushalt. Als Energieträger verwendet der Körper eine chemische Verbindung, die Adenosintriphosphat (ATP) genannt wird. Hier siehst du, wie ATP aussieht! Falls du nicht alle Abkürzungen kennst, schlage in deinem Chemiebuch nach, aus welchen Elementen dieses Molekül besteht!



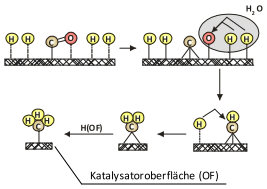
Um Energie aus diesem Molekül zu gewinnen, müssen einzelne Teile davon abgespalten werden. Stelle eine Vermutung auf warum Energie frei werden kann, wenn man Bindungen spaltet!

Im Fall des ATP werden sogenannte Phosphatgruppen abgespalten. Nach Abspaltung einer solchen Gruppe hat das Adenosin**TRI**phosphat nicht mehr drei, sondern nur noch zwei Phosphatgruppen und heißt dann Adenosin**DI**phosphat (ADP). Hier siehst du, wie ATP und ADP aussieht. Spalte eine weitere Phosphatgruppe ab und stelle so Adenosin**MONO**phosphat (AMP) her! Zeichne in dein Heft wie AMP aussehen muss!



A8: Öl aus dem Labor – Die Fischer-Tropsch-Synthese

Die folgende Abbildung zeigt den ersten Schritt der Fischer-Tropsch-Synthese, die auch Benzin-Synthese genannt wird. Was bedeuten die Abkürzungen? Beschreibe kurz, was hier passiert!



1.Schritt: _____
_____
_____

2. Schritt: _____
_____
_____

3. Schritt: _____
_____
_____

4. Schritt: _____
_____
_____

Nachdem einzelne CH_2-Gruppen auf der Oberfläche gebildet wurden, können sie sich zu Ketten zusammenschließen. Zeichne zu den im Folgenden beschriebenen Schritten eine Skizze wie in der vorherigen Aufgabe!

1. **Schritt:** Einzelne CH_2-Gruppen und eine endständige CH_3-Gruppe ordnen sich nebeneinander an
2. **Schritt:** Die Kohlenstoffatome bilden Bindungen untereinander aus und bilden eine Kette. Da jedes Kohlenstoffatom nur vier Bindungen ausbilden kann, müssen Bindungen zur Oberfläche gelöst werden. Schließlich ist die Kette nur noch an einer Stelle mit der Oberfläche verbunden.
3. **Schritt:** Die Kette reagiert mit einem Wasserstoffatom der Oberfläche. Dieses Wasserstoffatom wird an den Kohlenstoff gebunden, der bisher noch mit der Oberfläche verbunden war. Daraufhin löst sich diese Bindung.

A9: Diskussion

Ob man Biomasse verbrennen und aus ihr Kraftstoffe erzeugen sollte, ist ein Thema, um das es viele Diskussionen gibt. In der Folgende Tabelle siehst du einige Punkte, die dafür und dagegen sprechen. Versuche entsprechende Gegenargumente zu finden!

Pro	**Kontra**
Im Gegensatz zu anderen alternativen Energie wie der Windkraft, kann man aus Biomasse auch Kraftstoffe gewinnen, die gut transportiert werden können. Aus Windkraft zum Beispiel erhält man nur Strom.	
Wenn der Bedarf an Energiepflanzen steigt, werden mehr Bauern und Landwirte Arbeit haben.	
	Zieht man die Steuer ab, sind Kraftstoffe aus Biomasse viel teurer in ihrer Herstellung als fossile Kraftstoffe.
	Die Nahrungsmittelpreise werden steigen.
Drei Tonnen trockene Biomasse entsprechen etwa einer Tonne Erdöl. Wenn man zwei Millionen Quadratkilometer Waldfläche bepflanzt, deckt das also den Jahresbedarf der ganzen Erdbevölkerung. Das sind tolle Aussichten, falls das Öl bald ausgehen sollte!	
	Für eine Tankfüllung sind 200 kg Mais notwendig. Mit 200 kg Mais kann man einen Erwachsenen ein ganzes Jahr ernähren.
	Die Menge an Biodiesel soll bis 2020 um 17% steigen. Dafür ist fast ein Drittel der deutschen Ackerfläche nötig, die eigentlich für Lebensmittel gebraucht werden.

4.1.7.6 Teil 3: Ein Tag ohne Energie

Der Energiebedarf der Welt

Auf unserem Planeten leben derzeit mehr als 6,9 Milliarden Menschen, die alle mit Energie versorgt werden wollen. Allerdings ist der Energieverbrauch verschiedener Regionen mehr als unterschiedlich. Bevor auf die verschiedenen Nationen eingegangen werden soll, muss aber zunächst folgende Frage geklärt werden: Wie misst man den Energieverbrauch?

Watt und Kilowattstunden

Im Zusammenhang mit Energieverbrauch und noch vorhandener Energie tauchen zwei Begriffe immer wieder auf: Watt und die Kilowattstunde.

Watt ist die Einheit der Leistung. Die Leistung gibt an, wie viel Arbeit in einer bestimmten Zeit verrichtet wurde oder verrichtet werden kann. Eine Lampe mit 40 Watt kann demnach mehr Arbeit verrichten als eine mit 30 Watt. Sprich: Die erste Lampe kann heller leuchten.

Die Wattstunde gibt an, wie viel Energie eine Maschine mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt oder abgibt. Es handelt sich also um eine Energieeinheit. Eine Glühbirne mit 30 W verbraucht also bei einer Stunde Laufzeit 30 Wh. Im Alltag ist die Einheit Kilowattstunde (kWh) gebräuchlich um zum Beispiel den Stromverbrauch in einem Haushalt zu messen.

Länder im Vergleich

Wie gesagt ist der Verbrauch an Kilowattstunden äußerst unterschiedlich. Die sechs Staaten USA, China, Russland, Indien, Japan und Deutschland verbrauchen zusammen mehr als die Hälfte der Energie. Allein die USA benötigt ein Fünftel der Gesamtmenge, obwohl sie nur ein Zwanzigstel der Erdbevölkerung ausmacht.

Bei der Betrachtung des Energiebedarfs wird grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Ausdrücken unterschieden: Primärenergie, Endenergie und Nutzenergie. Diese Unterscheidung ist auf jeden Fall zu beachten, wenn in Statistiken der Energieverbrauch verschiedener Nationen aufgelistet wird.

- *Primärenergie*

Unter Primärenergie versteht man alle ursprünglichen, technisch noch nicht aufbereiteten Energieformen wie zum Beispiel Rohöl, Uran, Kohle oder Kuhmist.

- *Endenergie*

Unter Endenergie versteht man Energie in der Form, wie sie dem Verbraucher zukommt, wie zum Beispiel: Erdgas, Benzin, Elektrizität oder Heizöl.

- *Nutzenergie*

Unter Nutzenergie versteht man die letztendlich genutzte Form von Energie, wie zum Beispiel: Licht, Wärme oder Antriebsenergie.

Die folgenden Abbildungen zeigen welchen Anteil verschiedene Möglichkeiten zur Energiegewinnung an der Deckung des Primärenergiebedarfs verschiedener Länder haben.

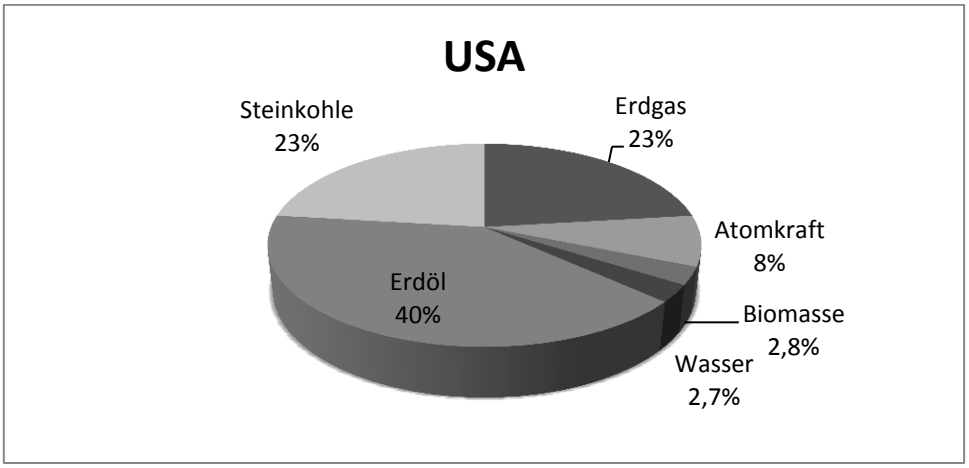


Abb. 201: Anteil an Primärenergie in den USA[198]

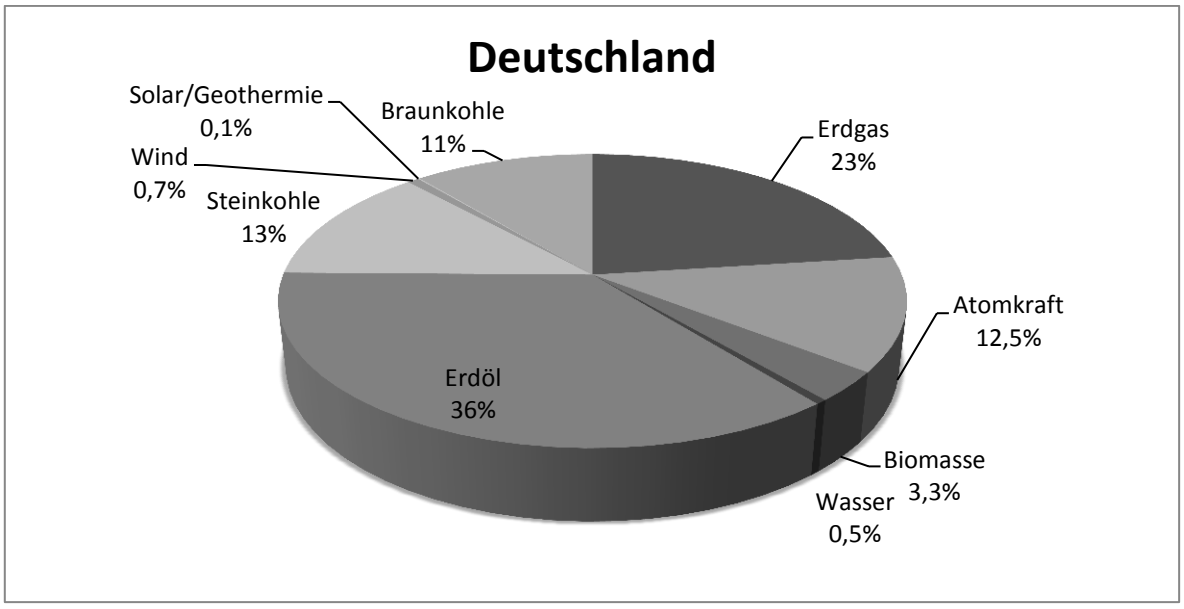


Abb. 202: Anteil an Primärenergie in Deutschland[198]

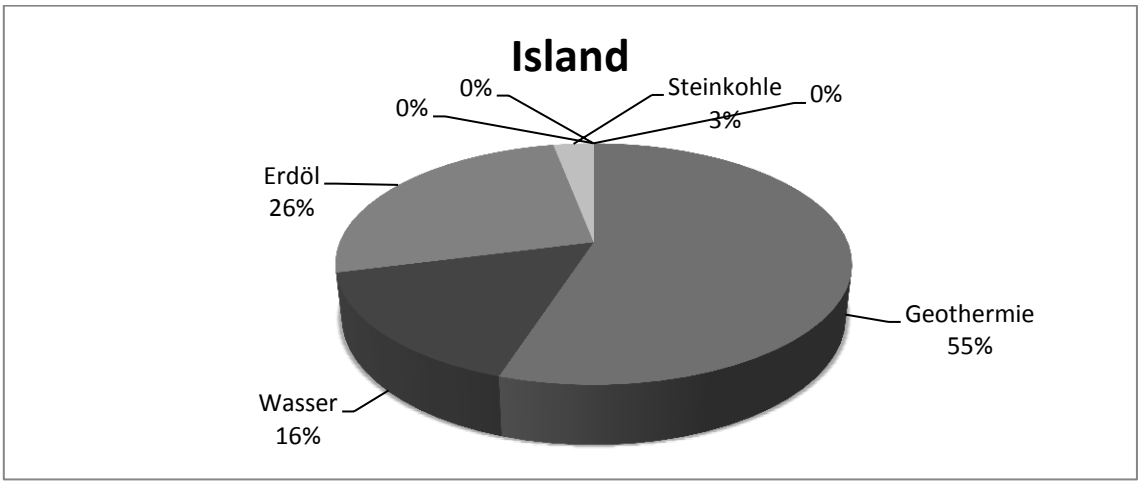


Abb. 203: Anteil an Primärenergie in Island[198]

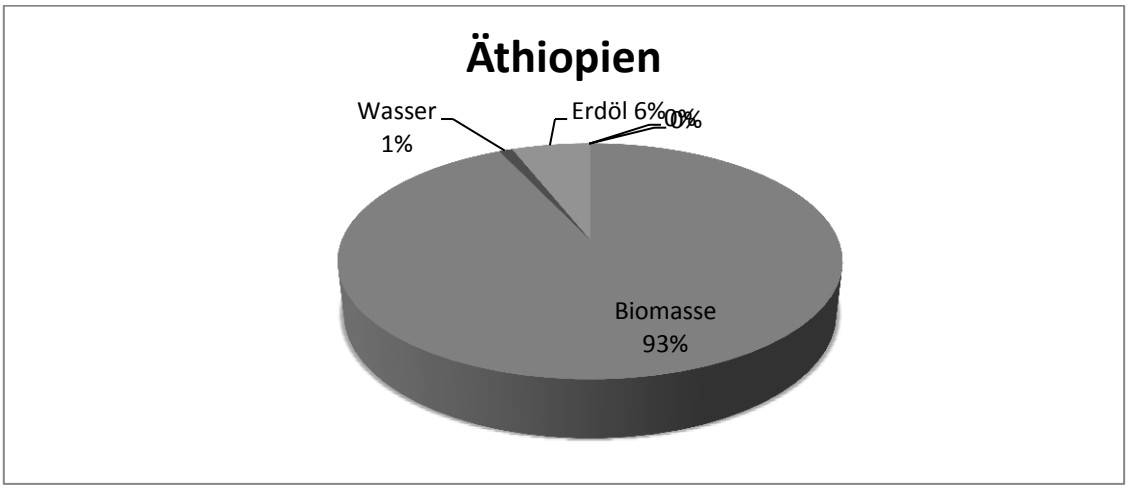


Abb. 204: Anteil an Primärenergie in Äthiopien[198]

In den Industrieländern USA, Deutschland und Island macht Erdöl noch einen großen Teil des Primärenergiebedarfs aus. Während die USA und Deutschland einen großen Teil ihrer Energie aus Erdgas oder der Atomkraft gewinnen, fällt Island mit einer Besonderheit auf. Dort werden über fünfzig Prozent des Bedarfs an Primärenergie über Erdwärme bestritten. Als Beispiel eines Entwicklungslandes dient hier Äthiopien. Über 90 Prozent des Bedarfs werden über Biomasse gedeckt. Das bedeutet keineswegs, dass in Äthiopien moderne Biomasse-Kraftwerke zum Einsatz kommen. In den meisten Fällen wird auf offenem Feuer gekocht und so eine Menge wertvolle Energie verschwendet und giftige Gase emittiert.

Energieverbrauch Deutschlands

In Deutschland wird Energie für verschiedenste Gebiete gebraucht. Die Folgende Abbildung zeigt eine Übersicht.

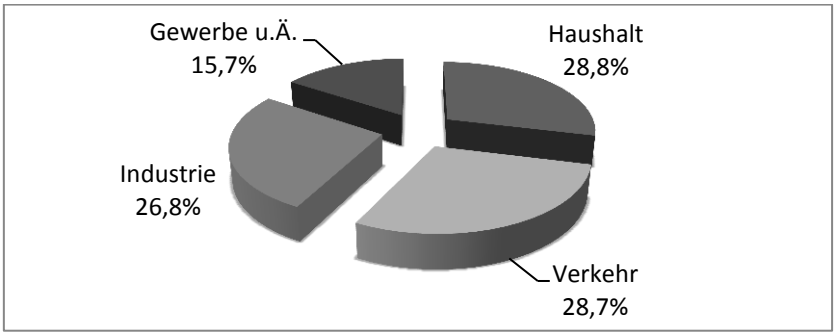


Abb. 205: Energieverbrauch in Deutschland[198]

Der größte Teil kommt Verkehr und Haushalt zu. Die Industrie folgt in geringem Abstand. Obwohl oft darauf vertraut wird, dass die Industrie weiter Energie sparen soll, wird doch in den Haushalten die meiste Energie verbraucht. Diese Erkenntnis ist sicherlich ein großer Ansatzpunkt zum Energiesparen.

Der private Energieverbrauch und Energiesparen

Im Privaten verbrauchen wir mehr Energie, als die gesamte deutsche Industrie. Aber wo geht die Energie hin? Ein durchschnittlicher drei Personen Haushalt verbraucht im Jahr ungefähr 3900 kWh. Das sind rund 750 €.

Die folgende Abbildung liefert eine Aufschlüsselung, wie viel Energie für welche Haushaltsgeräte verbraucht wird.

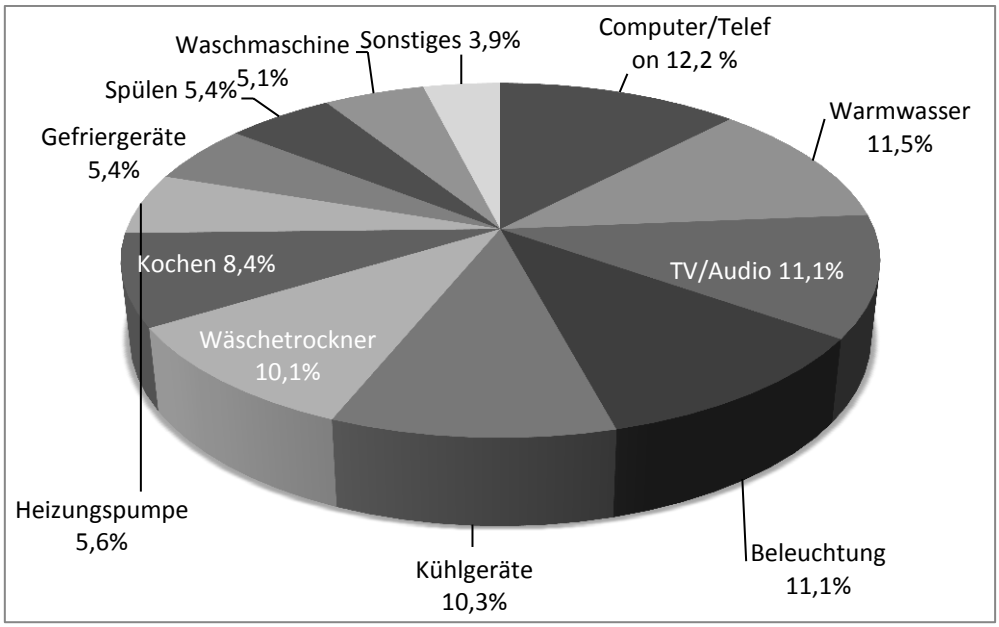


Abb. 206: Verbrauch privater Haushalte[198]

Erstaunlicher Weise sind die größten Posten für privaten Energieverbrauch nicht etwa „notwendige“ Verbraucher, wie die Heizung oder der Herd, sondern mediale Unterhaltung. Außerdem machen Warmwasser sowie Beleuchtung und Kühlgeräte einen großen Anteil aus.

Energiesparen

Wo kann man also Energie sparen? Vor allem verbrauchen Geräte im Standby eine Menge Energie, die noch nicht einmal sinnvoll genutzt wird. Ein Gerät mit einem Standby Bedarf von 5 Watt verbraucht pro Jahr 43,8 kWh was 8 € entspricht. Alte Geräte haben sogar einen Verbrauch von 30 W im Standby. Insgesamt schätzt das Umweltbundesamt, dass pro Jahr 4 Milliarden Euro für Leerlaufverluste ausgegeben werden. Dadurch werden umgerechnet 14 Millionen Tonnen CO_2 frei. Zum Vergleich: Mosambik stößt im Jahr ungefähr ein Siebtel insgesamt aus.

Insgesamt kann man mit einfachen Mitteln den Energiebedarf senken und so Energie sparen:

- Sromfresser mit Messgeräten aufspüren
- Alles was nicht benötigt wird ausschalten
- Alle Geräte mit Standby-Verbrauch an Steckerleisten anschließen
- Energiesparlampen verwenden
- Beim Kauf von Elektrogeräten auf den Stromverbrauch achten
- Kühlgeräte nicht neben Wärmequellen aufstellen und regelmäßig abtauen
- Gefriergut im Kühlschrank auftauen
- Waschmaschinen möglichst voll machen und mit niedriger Temperatur laufen lassen
- Trockner mit möglichst hoher Drehzahl schleudern
- Beim Kochen Deckel verwenden
- Raumtemperatur nicht höher als nötig wählen
- Bei Abwesenheit oder Nachts Heizung niedriger regeln
- Nachts Rollläden und Gardinen schließen
- Dauerlüftung vermeiden
- Heizkörper nicht verkleiden

<u>Handeln aus Pflicht?</u>

Bei dem Ausspruch „Handeln aus Pflicht“ handelt es sich um einen von Immanuel Kant geprägten Begriff. In seinem Werk „Grundlegung“ erklärt Kant, dass Handlungen dann einen moralischen Wert haben, wenn sie aus Pflicht erfolgen. Diese These ist in unterschiedlicher Weise missverständlich. Zum einen muss der Begriff „moralisch“ genauer definiert werden. Wann ist eine Handlung also moralisch und wann nicht? Man kann davon ausgehen, dass alle Handlungen als moralisch bezeichnet werden können, die aus der Überzeugung heraus geschehen, dass es falsch sei sie nicht zu vollziehen oder anders zu handeln. Ist man also der Überzeugung, dass es falsch ist den Müll einfach auf die Straße zu werfen, dann ist das werfen des Mülls in den Mülleimer eine moralische Handlung. Dieses einfache Beispiel dient natürlich nur zur Veranschaulichung. Kant meinte weit

komplexere Prozesse. Außerdem ist das Werfen des Mülls in einen Mülleimer auch sicherlich in gewisser Weise eine anerzogene Handlung. Nichts desto trotz: Eine Handlung wird also durch einen Reflexionsprozess zu einer moralischen Handlung. Dazu bedarf es einem guten Willen. Guter Wille bedeutet in diesem Zusammenhang nicht einen guten Willen in Bezug auf das eigene oder das Wohlbefinden anderer sondern ein guter Wille in Bezug auf den Zweck der Handlung selbst. Handelt eine Person nicht aus Selbstzweck (Kant nennt es Neigung) wird leicht ersichtlich, dass sie aus Pflichtbewusstsein heraus handelt. Das heißt aber nicht unbedingt, dass Handlungen die mit einer bestimmten Neigung nicht auch aus Pflichtbewusstsein vollzogen werden können. Handeln aus Pflicht ist also mit Handeln aus Neigung vereinbar.

Problematisch wird eine moralische Handlung immer dann, wenn sie unserer Neigung wiederspricht. Ist ein Mensch Vegetarier wird es ihm leicht fallen kein Hühnerfleisch aus Massentierhaltung zu kaufen. Schwieriger wird es dann für einen Liebhaber von Hähnchenfleisch. Diese Problematik lässt sich auch auf den Bereich der Energienutzung übertragen: SchülerInnen wohnen in der Regel bei ihren Eltern. Wahrscheinlich liegt es nicht immer in deren Neigung das Geld der Eltern zu sparen. Kant proklamiert jedoch in diesem Sinne: Alle SchülerInnen sind verpflichtet im Haushalt Energie zu sparen. Der gute Wille treibt sie dazu an diese moralische Handlung zu begehen, selbst wenn es nicht ihren Neigungen entspricht. Ein weiteres Beispiel liefert die aktuelle Klimadiskussion. Durch unseren hohen Energiebedarf stoßen wir viele Treibhausgase aus. Auch wenn viele SchülerInnen das nicht direkt tangiert, Kant hält es für ihre Pflicht sich mit der Problematik auseinander zu setzen und dementsprechend zu handeln.

Das eigentliche Problem ist also das der Motivation zum moralischen Handeln. Kant empfiehlt den Gebrauch der reinen Vernunft um mit guten Willen moralische Handlungen entgegen den eigenen Neigungen zu erkennen.

4.1.7.7 Arbeitsmaterial zum Thema Arbeitsmaterial „Ein Tag ohne Energie“

A10: Watt und Kilowattstunden

Zwei Begriffe aus der Physik sind wichtig, wenn man über persönlichen Energieverbrauch spricht: Watt und Kilowattstunden.

Watt kennen wir als die Einheit der Leistung. Bestimmt kennt ihr verschiedene Wattangaben von Elektrogeräten oder Lampen. Die Wattangabe auf einer Birne gibt also an, wie viel Arbeit diese pro Zeit leisten kann. Selbstverständlich ist also eine 40 Watt Birne heller als eine 30 Watt Birne.

Die Wattstunde gibt an, wie viel Energie eine Maschine mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt oder abgibt. Es handelt sich also um eine Energieeinheit. Eine Glühbirne mit 30 W verbraucht bei einer Stunde Laufzeit 30 Wh. Im Alltag ist die Einheit Kilowattstunde (kWh) gebräuchlich um zum Beispiel den Stromverbrauch in einem Haushalt zu messen.

Beantworte folgende Fragen in eigenen Worten!

1. **Claudia will sich einen neuen Fernseher kaufen. Im Angebot ist ein Fernseher mit 70 Watt für 530 € sowie ein Fernseher mit 100 Watt für 490 €. Welches Gerät würdest du Claudia empfehlen?**

2. **Dein Fernseher verbraucht 95 Watt. Zuerst hast du das Bundesligaspiel Bayern gegen Bremen und anschließen zwei Folgen „Gute Zeiten – Schlechte Zeiten“ gesehen. Insgesamt saßt du 3 Stunden vor dem Fernseher. Wie viele Wattstunden und Kilowattstunden hast du verbraucht?**

3. **Erkläre dem kleinen Bruder von deinem Freund/deiner Freundin, was der Unterschied zwischen Watt und Wattstunden ist!**

A11: Wie macht man Energie, die man benutzen kann?

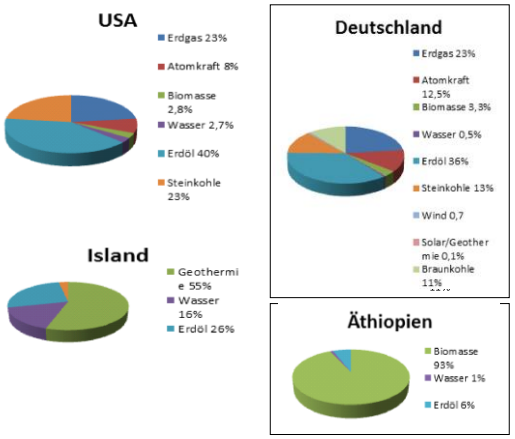
Grundsätzlich unterscheidet man folgende Begriffe zum Thema Energie:

Primärenergie
Unter Primärenergie versteht man alle ursprünglichen, technisch noch nicht aufbereiteten Energieformen wie zum Beispiel Rohöl, Uran, Kohle oder Kuhmist.

Endenergie
Unter Endenergie versteht man Energie in der Form, wie sie dem Verbraucher zukommt, wie zum Beispiel: Erdgas, Benzin, Elektrizität oder Heizöl.

Nutzenergie
Unter Nutzenergie versteht man die letztendlich genutzte Form von Energie, wie zum Beispiel: Licht, Wärme oder Antriebsenergie.

Verschiedene Länder gewinnen ihre Primärenergie auf unterschiedliche Arten, wie folgende Abbildungen zeigen:

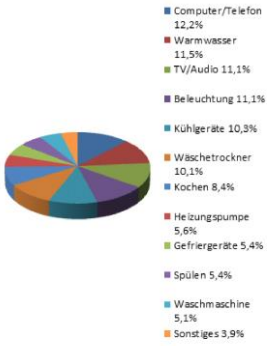


Diskutiert zu zweit folgende Fragen:

a. Wie gewinnen die verschiedenen Länder ihre meiste Energie?
b. Was fällt euch bei Island auf?
c. Was bedeutet es, wenn Äthiopien so viel Energie aus Biomasse gewinnt?

A12: Energieverbrauch bei dir zu Hause

Entgegen der landläufigen Meinung wird in Deutschland immer noch am meisten Energie in den privaten Haushalten verbraucht. Betrachte folgende Abbildung und diskutiere sie mit einem Partner!



Stelle eine Rangliste auf: Was denkst du, für was du am meisten Energie verbrauchst!

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Diskutiere mit deinem Nachbar deine fünf Punkte und überlegt gemeinsam, wo ihr Energie sparen könntet!

4.1.7.7 Literaturempfehlung zum Thema „Erfahrbare Energie“

[A] Ameriks, K.; Sturma, D. (Hg.): Kants Ethik, mentis Verlag, Paderborn, 2004.

[B] Biehl, P.; Johannsen, F.: Einführung in die Ethik, Neukirchener Verlag, Neukirchen-Vluyn, 2003.

[C] Bührke, T., Wengenmayr, R. (Hg.): Erneuerbare Enegrie, 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2010.

[D] Ernst, S., Engele, Ä., Sozialethik konkret, Kösel, München, 2006.

[E] Jonas, H.: Technik, Medizin und Ethik, Praxis des Prinzips Verantwortung, Insel Verlag, Frankfurt am Main, 1985.

[F] Jonas, H.: Das Prinzip Verantwortung, 5. Auflage, Insel Verlag, Frankfurt am Main, 1986.

[G] Lübbe, H. (Hg.): Fortschritt der Technik, R. v. Decker’s Verlag, Heidelberg, 1987.

[H] Petermann, J. (Hg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert, 3. Auflage, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[I] Richter, D.; Energie und Umwelt, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig, 1986.

[J] Rubner, J.; Das Energie-Dilemma, Pantheon, München, 2007.

[K] RWE AG (Hg.): Energie! Entdecke was die Welt bewegt!, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 2008.

[L] Quaschning, V., Erneuerbare Energien und Klimaschutz, 2. Auflage, Hanser, München, 2010.

4.2 Inhalt und Konzeption Wissenschaftsethik

HINWEIS: Aus Datenschutzrechtlichen Gründen wurde dieser Fassung das folgende Kapitel entnommen. An folgender Stelle kann es eingesehen werden:

Blank, J.; Schierhorn, O.: Wissenschaftsethik. In Franzen, H. (Hg.): EinFach Philosophieren. Paderborn, Schoeningh.

A Warum geht uns die Wissenschaft etwas an? – Praxisbeispiel Technik

A1 Technik im Alltag
A2 Technik und Ethik
A3 Wissen und Wissenschaft
A4 Naturwissenschaft vs. Geisteswissenschaft

B Wissenschaftliche Methoden– Praxisbeispiel Plagiate

B1 Daten und Theorien
B2 Empirie und Falsifikation
B3 Plagiieren

C Verantwortung – Praxisbeispiel Natur und Umwelt

C1 Natur – Umwelt - Ethik
C2 Der Begriff „Verantwortung“
C3 Das Verantwortungssubjekt in Alltag und Wissenschaft
C4 Das Verantwortungsobjekt am Beispiel der Natur
C5 Pflicht zur Verantwortung

D Probleme der Wissenschaftsethik – Praxisbeispiel Gentechnik

D1 Ethik als Spaßbremse?
D2 Die Freiheit der Forschung
D3 Probleme der Bioethik am Beispiel der Gentechnik
D4 Folgenabschätzung des technischen Fortschritts

E Ergänzungen: Wissenschaftsethik konkret

E1 Technik
E2 Plagiate
E3 Natur und Umwelt
E4 Gentechni

Kapitel 5

Zusammenfassung und Fazit

Im Folgenden werden die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit zusammengefasst und ein abschließendes Fazit gezogen.

Das Verhältnis der heute an der Universität vorzufindenden Disziplinen und der Fächern der Schule unterlag wie gezeigt einer historischen Dynamik. Auch heute wandelt sich der Kanon der Disziplinen stetig. Hinzu kommen hoch spezialisierte Disziplinen, welche schon von vorneherein so angelegt sind, dass sie verschiedene übergeordnete Bereiche verbinden. Ein Beispiel aus der Vergangenheit wäre die Ökologie, welche verschiedene Fächer miteinander verknüpft. Die Entwicklung der universitären Landschaft richtet sich zudem nach den Bedürfnissen der Gesellschaft. Dies sieht man an neuen Studiengängen, wie zum Beispiel dem Umweltmanagement. Gesucht sind nicht nur naturwissenschaftlich ausgebildete Experten, sondern Fachkräfte, die Kompetenzen aus dem naturwissenschaftlichen und dem betriebswirtschaftlichen Bereich (oder anderen Bereichen) vereinen.

Eine Universität ohne Interdisziplinarität würde stagnieren, aber zu beobachten ist eine rasante Curriculums Entwicklung. Auch in der Forschung spielt Interdisziplinarität eine immer größere Rolle. Forschungsfragen sind oft so gestellt, dass sie von vorneherein verschiedene Perspektiven benötigen, um bearbeitet werden zu können. Wissenschaftlich gutes Arbeiten verschließt sich nicht Methoden und Erkenntnissen anderer Fachbereiche, sondern erweitert seine Perspektive, um dem Forschungsgegenstand so nah wie möglich zu kommen. Es konnte gezeigt werden, dass dabei zwar im forschungsbetrieblichen Alltag am häufigsten von Interdisziplinarität gesprochen wird, dass man aber zwischen verschiedenen Bindestrich-Disziplinaritäten, wie zum Beispiel der Transdisziplinarität, unterscheiden muss. Die folgende Abbildung fasst diesen Tatbestand zusammen (vgl Kapitel 2).

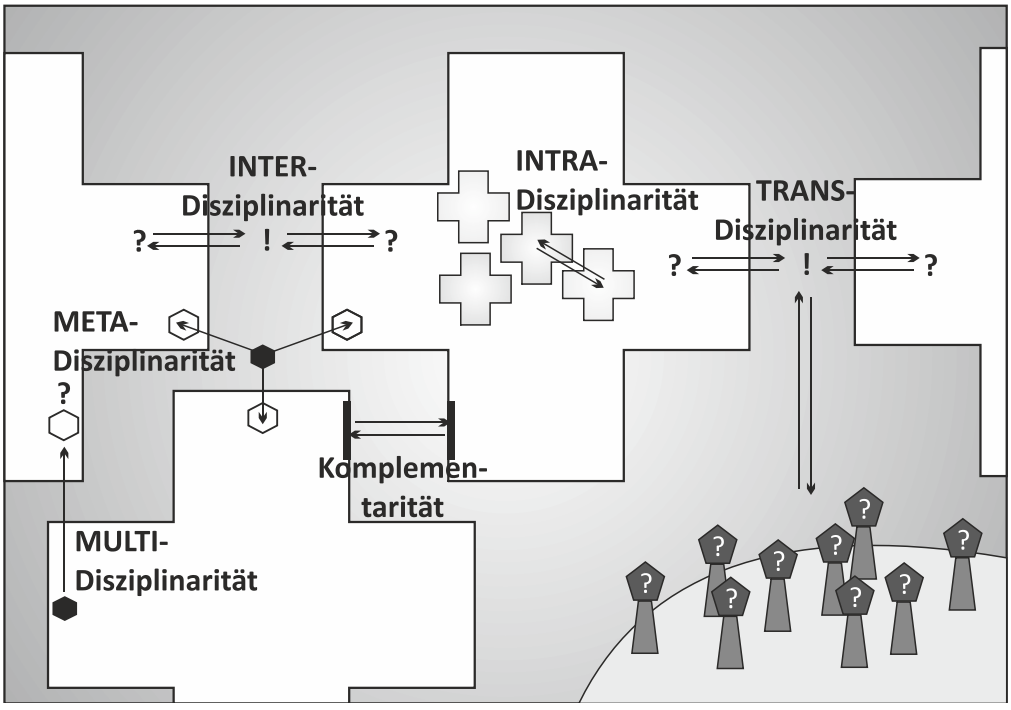


Abb. 207: Unterschiede zwischen verschiedenen Bindestrich-Disziplinaritäten

Am Beispiel von Ethik und Naturwissenschaft wurde das Verhältnis der universitären Disziplinen in Hinsicht auf deren historischen Verlauf untersucht. Dabei wurden an gezielt ausgewählten Beispielen wissenschaftstheoretsiche Untersuchungen angestellt. Die Literatur wurde mit Blick auf die übergeordnete Fragestellung untersucht: Welches Verhältnis gibt es zwischen den Naturwissenschaften und der Ethik als einer Geisteswissenschaft? Ausgehend von der Antike wurden verschiedene Modelle über die wissenschaftliche Revolution hinweg bis in die Neuzeit diskutiert. Während im atomistischen Modell Demokrits noch versucht wurde naturwissenschaftliche Phänomene theologisch zu erklären, stellte Platon keinen konkreten Bezug zwischen Ethik und Naturwissenschaft her. Aber er erkannte bereits, dass Wissen sittlich indifferent ist, dass es also, obwohl selbst neutral, zum Guten und zum Schlechten verwendet werden kann. Aristoteles trennt zum ersten Mal formal zwischen Ethik und Naturwissenschaft (Physik), trotzdem bleibt seine gesamte Lehre philosophisch durchzogen. In der Stoa drückt sich das Verhältnis von Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft im Spannungsverhältnis zwischen Kausalität und Freiheit aus. Zur Zeit der wissenschaftlichen Revolution veränderte sich einiges maßgeblich im Bereich des Verständnisses von Wissenschaft. Galilei beschritt den Weg vom Kontemplativen zum Aktiven. Seine Physik bleibt weitestgehend Physik und ist nicht von ethischen oder philosophischen Merkmalen durchdrungen. Wissenschaftstheoretisch ist Francis Bacon sicherlich einer der Vorreiter der Empirie. Er setzte die Wissenschaften in den Nutzen des Menschen, stellte also hier einen Gesellschaftsbezug her und war sich auch dessen bewusst, dass die Wissenschaft deshalb reglementiert werden musste. Descartes hingegen lehnt die Einzelwissenschaften ab und versucht Universalwissenschaft zu betreiben. Ethik und Physik können bei ihm kaum getrennt werden. Die Frage nach der Verantwortung beantwortete er mit dem reflektierenden Ich. Newton war schließlich soweit die Physik tatsächlich auch Praxis werden zu lassen. Der Nutzen war nicht mehr reine Utopie. Eine Ethik kommt in seiner Lehre jedoch nicht vor. Kant ist es, der schließlich die Verschiedenheit von Ethik und Naturwissenschaft durch die Aufstellung seiner Fakultäten betont. Schließlich ist es die moderne Naturwissenschaft, welche klassische Modelle ablöste. Mit Darwin stellt sich ein Vertreter der Naturwissenschaft vor, der ethische Prinzipien (die Moral) als naturwissenschaftlich begründet und als Bestandteil der menschlichen Natur beschreibt. Aber die moderne Naturwissenschaft führt nicht ausschließlich zu einer stärkeren Trennung zwischen Ethik und Naturwissenschaft. Der Aufschwung der Quantenmechanik stellt die Philosophie wieder stärker in den Vordergrund. Nicht mehr alles ist kausal. Die hermeneutische Methode gewinnt auch in den Naturwissenschaften an Gewicht.

Schließlich mündet die Diskussion in der Debatte um Interdisziplinarität und ihre Bindestrich-Disziplinaritäten. Das Verhältnis von Ethik und Naturwissenschaft heute wurde wie folgt beschrieben:

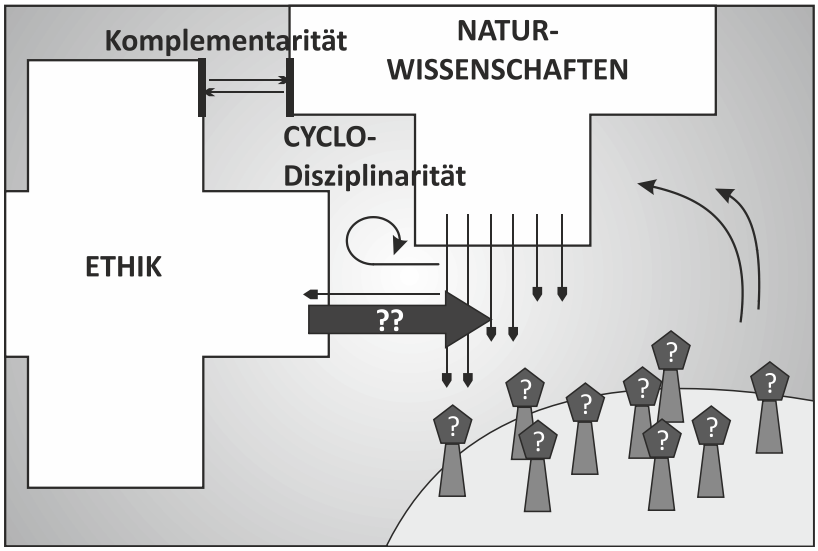


Abb. 208: Das Verhältnis von Naturwissenschaft und Ethik heute

Der Begriff der Cyclo-Disziplinarität wurde eingeführt um zu verdeutlichen, dass die Wechselwirkung zwischen Naturwissenschaft und Ethik einem „Hin und Her“ gleicht und nicht von beiden Seiten zeitgleich und mit gleichem Ziel durchgeführt wird. Das Verhältnis von Naturwissenschaft und Ethik konnte so bezogen auf die wissenschaftliche Akademie erfolgreich illustriert werden (vgl. Kapitel 2).

Bis dahin beschränkten sich die Ausführungen weitgehend auf Interdisziplinarität in der wissenschaftlichen Forschung und an der Universität. Die durchgeführten empirischen Untersuchungen bezogen sich auf den Fächerkanon der Schule und auf didaktische Fragestellungen. Dabei wurde vor allem auf die Metaebene empirischer Didaktik abgezielt. Das heißt, es wurde versucht Tatbestände des Unterrichts in Hinsicht auf Interdisziplinarität zu erfassen. Im Rahmen des Projekts „EnergEthik“ wurde die Metaebene auf die Analyse- und Planungsebene übertragen. Hier wurde konkrete Unterrichtsplanung vorgenommen. Durch die Durchführung des Schülerlabors konnte die Prozessebene ebenfalls reflektiert werden. Ebenso wurde die Planungsebene konkret durch das Projekt „Wissenschaftsethik“ erreicht.

Durch die empirisch geleisteten Beiträge konnten interessante Erkenntnisse gewonnen werden.
Die Umfrage unter Schülerinnen und Schülern ergab eine deutlichere Beliebtheit der Geisteswissenschaften. Die Schülerinnen und Schüler teilten bestimmte Themen mit interdisziplinärer Implikation Fächern zu. Deutlich häufiger werden diese Themen den Naturwissenschaften zugeordnet. Den fächerübergreifenden Charakter erkannten hauptsächlich die Schülerinnen und Schüler der Oberstufe. Außerdem konnten signifikante Mittelwertunterschiede im Bereich der Motivation, der Aktivität im Unterricht und im Erkennen von fächerübergreifenden Ansätzen zwischen den einzelnen Jahrgängen festgestellt werden.

Die Lehrerinnen und Lehrer gaben an im Mittel zwischen einmal pro Schuljahr und einmal pro Monat fächerübergreifend zu unterrichten. Dabei liegen die Mittelwerte der älteren und damit erfahrenen Lehrerinnen und Lehrer höher, als die der jüngeren. Das heißt, fächerübergreifender Unterricht wird tendenziell mehr von älteren Lehrerinnen und Lehrern durchgeführt. Zudem konnten signifikante Korrelationen zwischen dem studierten Fach und fachfremd unterrichteten Fächern festgestellt werden, was die Kategorisierung in Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften betrifft.

Das auffälligste Ergebnis der Umfrage unter Studierenden des Lehramts war die Differenz zwischen dem, was sie im Studium vorfinden und dem, was sie sich in Hinsicht auf die Vorbereitung auf fächerübergreifenden Unterricht wünschen. Die Studierenden gaben an im Studium nur wenig über die Durchführung und Planung von fächerübergreifendem Unterricht zu lernen. Gleichzeitig drückten sie aus, dass durchaus das Interesse an dieser Thematik besteht. Es konnten dabei signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Studierenden des Grundschullehramts und Förderschullehramts und den Studierenden des Gymnasial- oder Real- und Hauptschullehramts festgestellt werden. Die erste Gruppe erfährt demnach signifikant mehr Vorbereitung auf fächerübergreifenden Unterricht.

Die Umfrage unter Promotionsstudierenden ergab, dass Zusammenarbeit über die Fächer hinaus hauptsächlich innerhalb der Geisteswissenschaften oder innerhalb der Naturwissenschaften zu Stande kommt, jedoch relativ selten zwischen diesen beiden großen Bereichen. Kooperationen belaufen sich dabei meistens auf den Austausch von Methoden. Als Sinn von Interdisziplinarität in der Forschung wurde hauptsächlich angegeben, dass sie die Qualität der Forschung verbessere und eine Möglichkeit zur eigenen Qualifikation darstelle. Interdisziplinarität wurde dabei verstanden als die Verbindung zweier Fächer, egal aus welchem Bereich, d.h. egal ob aus Geisteswissenschaften oder Naturwissenschaften. Unentschieden waren die Antworten jedoch auf die Frage hin, ob Interdisziplinarität auch innerhalb eines Faches zustande kommen kann (also wenn es wissenschaftstheoretisch gesprochen um Intradisziplinarität geht). Es konnten zudem Unterschiede im Antwortverhalten zwischen Promotionsstudierenden der Naturwissenschaften und der Geisteswissenschaften festgestellt werden. Die Lehre wird grundsätzlich positiv bewertet, allerdings drückten die GeisteswissenschaftlerInnen eine positivere Tendenz aus. Es konnten signifikante Mittelwertunterschiede in der Relevanz von Lehre festgestellt werden. Auch hier drückten die GeisteswissenschaftlerInnen positivere Antworten aus.

Die hier vorliegende Arbeit bearbeitete diese Fragestellung (vgl. Kapitel1):

a) In Bezug auf die Schule

i. *In welcher Quantität wird an mittelhessischen Schulen derzeit fächerübergreifend unterrichtet?*

Es kann festgehalten werden, dass Lehrerinnen und Lehrer an mittelhessischen Schulen im Mittel mindestens jedes Halbjahr fächerübergreifende Ansätze verwirklichen. Dabei müsste noch genauer bestimmt werden, was genau als fächerübergreifender Ansatz angesehen werden kann.

ii. *Welche Faktoren spielen beim fächerübergreifenden Lehren und Lernen eine Rolle (gibt es zum Beispiel schulformbezogene oder genderspezifische Unterschiede)?*

Es konnten Unterschiede vor allem zwischen älteren und jungen Lehrerinnen und Lehrern gemacht werden. Tatsächlich wurde auch beobachtet, dass Lehrer häufiger Naturwissenschaften unterrichten als Lehrerinnen. In Hinsicht auf den Schultyp konnten Unterschiede hauptsächlich bei der Befragung der SchülerInnen festgestellt werden.

iii. *Welche Einstellung haben LehrerInnen und SchülerInnen zu fächerübergreifendem Unterricht?*

Fächerübergreifender Unterricht wird von Lehrerinnen und Lehrern als nutzbringend empfunden, allerdings wird auch auf die Schwierigkeiten hingewiesen. Fächerübergreifende Ansätze wurden dabei hauptsächlich von Oberstufenschülerinnen erkannt.

iv. *Wie kategorisieren SchülerInnen verschiedene Themen in Bezug auf den Fächerkanon?*

Bei der Kategorisierung von Themen fiel auf, dass die Themen in der Regel eher den Naturwissenschaften zugeordnet wurden. Die Oberstufenschüler und Oberstufenschülerinnen gaben am häufigsten eine Naturwissenschaft und eine Geisteswissenschaft an.

b) In Bezug auf die Hochschule

i. *Wie gestaltet sich die Vorbereitung der Lehramtsstudierenden in Bezug auf fächerübergreifenden Unterricht?*

Es wurde klar, dass die Lehramtsstudierenden kaum bis gar nicht auf die Planungen und Durchführung von fächerübergreifendem Unterricht vorbereitet werden.

ii. *Welche Verschiedenheiten gibt es in Bezug auf die unterschiedlichen Studiengänge und die gewählten Fächerkombinationen?*

Unterschiede gibt es vor allem zwischen den Studierenden des Grundschul- oder Förderschullehramts und den Studierenden des Gymnasial- oder Haupt- und Realschullehramts. Die hier beobachteten Unterschiede sind auf die auch in der Schulpraxis existierenden Unterschiede zwischen den Schultypen zurück zu führen.

iii. *Welche Relevanz hat die Lehre für Promotionsstudierende der JLU und welche Bedeutung hat für sie Interdisziplinarität in Lehre und Forschung?*

Die Lehre wird von Promotionsstudierenden positiv bewertet. Ebenso ergab die Erhebung eine positive Einstellung zu Interdisziplinarität in Forschung und Lehre.

Es konnten durch die Erhebungen wie hier beschrieben interessante Ergebnisse zu den ausgeführten Forschungsfragen gewonnen werden. Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse werfen zudem weitere Fragen auf, welche durch andere Forschungsmethoden (zum Beispiel qualitative Studien) oder durch eine Veränderung und Anpassung der Erhebungsbedingungen (größere Kohorte oder Anpassung des Fragebogens) geklärt werden können. Die diskutierten Ergebnisse bieten einen breiten Einblick in die Thematik und demnach viele Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen.

Es kann zusammenfassend festgehalten werden, dass Interdisziplinarität als Schlagwort in Forschung und Lehre an der Hochschule sowie in der schulischen Unterrichtsgestaltung eine immer wichtigerere Rolle spielt. In der Lehre sieht man das durch die Entwicklung weg vom schulischen Lehrplan und hin zu Kompetenzzielen, durch kompetenzorientierte Lehre an der Hochschule und durch die immer wieder durchgeführten Überarbeitungen im organisatorischen Bereich. Dabei sind es vor allem die Rahmenbedingungen, welche fächerübergreifenden Unterricht an der Schule und der Universität erschweren. Es ist die Ambivalenz in den Anforderungen der Leistungsgesellschaft. Gefordert ist auf der einen Seite eine möglichst schnelle, wissensbasierte und breite Ausbildung, auf der anderen Seite eine möglichst tiefe und kompetenzorientierte Bildung des Individuums. Das zu vereinen ist die große Aufgabe der Lehre. Im Bereich der Forschung sieht man einen Trend weg von

rein epistemischen Fragestellungen und hin zu gesellschaftlicher Relevanz. Damit versucht auch die akademische Forschung den Spagat zwischen der reinen Wissensaneignung und dem Anwendungsbezug.

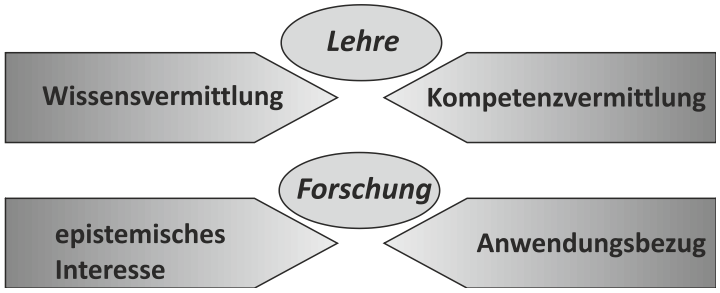


Abb. 209: Spannungsfelder in Lehre und Forschung

Lehre und Forschung sehen sich so den gleichen Herausforderungen gegenüber. Interdisziplinarität und alle ihre Bindestrich-Disziplinaritäten sowie fächerübergreifender Unterricht sind Werkzeuge zum Auflösen der Spannung zwischen Wissensvermittlung und Kompetenzvermittlung zwischen dem epistemischen Interesse und dem Anwendungsbezug.

6 Literatur

[1] Baerns, M., Behr, A., Brehm, A. and A., u.: *Technische Chemie*, Wiley-VCH, Weinheim, **2006**.

[2] Rubner, J.: *Das Energie-Dilemma*, Pantheon, München, **2007**.

[3] Huber, L.: *Zur Rolle fächerübergreifender Inhalte in der Lehrerbildung*, Klinkhardt, Kempten, **2004**.

[4] Duncker, L.: *Vom Sinn des Ordnens. Zur Rekonstruktion der Wirklichkeit in und zwischen den Schulfächern*. in: Duncker, L. and Popp, W. (Hg.): Über die Fachgrenzen hinaus, Band 1, Dieck, Heinsberg, **1997**.

[5] Giel, K.: *Zur Philosophie der Schulfächer*. in: Duncker, L. and Popp, W. (Hg.): Über die Fachgrenzen hinaus, Band 1, Dieck, Heinsberg, **1997**.

[6] Berger, A.: *Bildung und Ganzheit*. in: Rekus, J. (Hg.): Grundfragen der Pädagogik, Band 3, Peter Lang, Frankfurt a. M., Berlin, Bern, u. A., **2002**.

[7] Mittelstrass, J.: *Transdisziplinarität - Wissenschaftliche Zukunft und institutionalisierte Wirklichkeit*, UVK, Konstanz, **2003**.

[8] Memmert, W.: *Über den Umgang mit den Fächern. Sechs historische Modelle*. in: Duncker, L. and Popp, W. (Hg.): Über die Fachgrenzen hinaus, Band 1, Dieck, Heinsberg, **1997**.

[9] Eder, F.: *Welche Qualitätsanforderungen an die Lehrerbildung ergeben sich aus dem sozialen Wandel?* in: Sieland, B. and Rissland, B. (Hg.): Qualitätssicherung in der Lehrerbildung. Schriftreihe: Studien zur Erwachsenenbildung, Band 9, Verlag Dr. Kovenac, Hamburg, **2000**.

[10] Plöger, W.: *Allgemeine Didaktik und Fachdidaktik*, UTB, München **1999**.

[11] Jank, W. and Meyer, H.: *Didaktische Modelle*, Cornelsen, Berlin, **1991**.

[12] Holl, O.: *Wissenschaftskunde 1*, UTB Verlag Dokumentation Saur KG, Pullach, **1973**.

[13] Schröder, R.: *Die Linie Demokrits*. in: Berliner theologische Zeitschrift, **1986**, 77-91.

[14] Sexl, R. U.: *Was die Welt zusammenhält*, 3. Auflage, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, **1983**.

[15] Nikolaou, M.: *Die Atomlehre Demokrits und Platon Timaios*, Teubner, Stuttgart, **1998**.

[16] Jürß, F., Müller, R. and Schmidt, E. G.: *Griechische Atomisten*, 4. Auflage, Reclam-Verlag, Leipzig, **1977**.

[17] Locqueneux, R.: *Kurze Geschichte der Physik*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, **1989**.

[18] Schmidt, E. A.: *Cliname - Eine Studie zum dynamischen Atomismus der Antike*, Universitätsverlag Winter, Heidelberg, **2007**.

[19] Wedler, G.: *Lerbuch der Physikalischen Chemie*, 5. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, **2004**.

[20] Simonyi, K.: *Kulturgeschichte der Physik*, Verlag Harri Deutsch, Urania-Verlag, Akadémiai Kiadó, Thun/Frankfurt a. M., Leipzig/Jena/Berlin, Budapest, **1990**.

[21] Lukrez: *De rerum natura*. in: Diels, H. (Hg.): Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **1993**.

[22] Löbl, R.: *Demokrits Atomphysik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **1987**.

[23] Riedel, E.: *Moderne Anorganische Chemie*, 2. Auflage, de Gruyter, Berlin, **2003**.

[24] Boltzmann, L.: *Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft*. in: Annalen der Physik, **1897**, 231.
[25] Gloy, K.: *Platon, die Wissenschaftsgeschichte und unser Naturverständnis*. in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, **1990**, 651-660.
[26] Platon (385-378 v. Chr.): *Phaidon*. Herausgegeben von: Frede, D., Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **1999**.
[27] Rex, F.: *Die älteste Molekulartheorie*. in: Chemie in unserer Zeit, **1989**, 200-206.
[28] Erler, M.: *Kleines Werklexikon Platon*, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, **2007**.
[29] Schleiermacher, F.: *Platon Phaidon*, Reclam, Stuttgart, **1987**.
[30] Weizäcker, C. F. v.: *Ein Blick auf Palton-Ideenlehre, Logik und Physik*, Reclam, Stuttgart, **1998**.
[31] Atiyah, M.: *Pulling the Strings*. in: Nature, **2005**, 1081-1082.
[32] Platon (360 v. Chr.): *Timaios*. Herausgegeben von: Paulsen, T. and Rehm, R., Reclam, Stuttgart, **2003**.
[33] Zehnpfennig, B.: *Platon zur Einführung*, Junius, Hamburg, **1997**.
[34] Schulz, D. J.: *Das Problem der Materie in Platons Timaios*, H. Bouvier u. Co. Verlag, Bonn, **1966**.
[35] Lloyd, D. R.: *The Chemistry of Platonic Triangels: Problems in the Interpretation of the Timaios*. in: International Journal for Philosophy of Chemistry, **2007**, 99-118.
[36] Müller, G.: *Studien zu den platonsichen Nomoi*, 2. Auflage, Verlag C.H.Beck München, **1968**.
[37] Szlezák, T.: *Psyche-Polis-Kosmos*. in: Rudolph, E. (Hg.): Polis und Kosmos-Naturphilosophie und politische Philosophie bei Platon, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **1996**.
[38] Jäger, G.: *"Nus" in Platons Dialogen*, Vandenhoeck&Ruprecht, Göttingen, **1967**.
[39] Gloy, K.: *Studien zur platonischen Naturphilosophie im Timaios*, Königshausen + Neumann, Würzburg, **1986**.
[40] Prinzenbach, H.: *Vom Insektizid zu Platons Universum - Die Pagodan-Route zu Dodecahedranen: neue Wege und neue Ziele*. in: Angewandte Chemie, **1994**, 2329-2348.
[41] Hirschberger, J.: *Geschichte der Philosophie*, 12. Auflage, Komet, Köln, **1980**.
[42] Fischer, E. P.: *Aristoteles, Platon & Co.*, Piper, München, **2001**.
[43] Schmitz, H.: *Platon und Aristoteles - Die Ideenlehre des Aristoteles*, Bouvier, Bonn, **1985**.
[44] Seidl, H.: *Beiträge zu Aristoteles' Naturphilosophie*. in: Berling, R., Schrader, W. (Hg.): Band 5, Atlanta, Amsterdam, **1995**.
[45] Rapp, C.: *Aristoteles zur Einführung*, Junius, Hamburg, **2001**.
[46] Bochalli, R.: *Sokrates, Platon und Aristoteles*. in: Madizinische Monatsschrift, **1955**, 326-328.
[47] Horne, R. A.: *Aristotelian Chemistry*. in: Chymia, **1966**, 21-27.
[48] Aristoteles (384-322 v. Chr.): *Physikalische Vorlesung*. Herausgegeben von: Gohlke, P., Ferdinand Schöningh, Paderborn, **1956**.
[49] Aristoteles (384-322 v. Chr.): *Über den Himmel, Vom Werden und Vergehen*. Herausgegeben von: Gohlke, P., Ferdinand Schöningh, Paderborn, **1958**.
[50] Needham, P.: *Aristotelian Chemistry: A Prelude to Duhemian Metaphysics*. in: Studies in History and Philosophy, **1996**, 251-269.

[51] Lippmann, E. O. v.: *Chemisches und Physikalisches aus Platon*. in: Journal für praktische Chemie, **1908**, 515-544.
[52] Aristoteles (384-322 v. Chr.): *Physik*. Herausgegeben von: Weiße, C. H., Barth, Leibzig, **1829**.
[53] Aristoteles (384-322 v. Chr.): *Metaphysik XII*. Herausgegeben von: Gadamer, H.-G., 5. Auflage, Klostermann Seminar, Frankfurt am Main, **2004**.
[54] Aristoteles (384-322 v. Chr.): *Metaphysik*. Herausgegeben von: Bonitz, H., 5. Auflage, Rowohlts Enzyklopädie, Reinbeck, **2007**.
[55] Höffe, O.: *Aristoteles: Die Hauptwerke*, Francke Verlag, Tübingen, **2009**.
[56] Rudolph, E.: *Zum Verhältnis von Zeit und erstem Beweger bei Aristoteles*. in: Philosophia Naturalis, **1983**, 96-107.
[57] Achtner, W.: *Theologie und Naturwissenschft im Dialog über das Problem der Zeit*. in: Ökumenische Rundschau, **2000**, 131-148.
[58] Hunger, E.: *Von Demokrit bis Heisenberg*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, **1958**.
[59] Lippard, S. J. and Berg, J. M.: *Bioanorganische Chemie*, Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxfort, **1995**.
[60] Müller, E.: *Aristoteles: Menschen streben von Natur aus nach Wissen*. in: Katholische Bildung, **2005**, 401-410.
[61] Achtner, W.: *Vom Erkennen zum Handeln*. in: Jackelén, A., Löhr, G., Peters, T., Rupke, N. A. (Hg.): Religion, Theologie und Naturwissenschaft, Band 12, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, **2008**.
[62] Aristoteles (384-322 v. Chr.): *Nikomachische Ethik*. Herausgegeben von: Dirlmeier, F., Reclam, Ditzingen, **2008**.
[63] Höffe, O.: *Nikomachische Ethik*, 2. Auflage, Akademie Verlag, Berlin, **2006**.
[64] Fritz, K. v.: *Aristoteles' anthropologische Ethik*. in: Philosophisches Jahrbuch, **1980**, 242-257.
[65] Stempsey, W. E.: *A New Stoic: The Wise Patient*. in: Journal of Medicine and Philosophy, **2004**, 451-472.
[66] Becker, L. C.: *Human Health and Stoic Moral Norms*. in: Journal of Medicine and Philosophy, **2003**, 221.
[67] Simon, H. and Simon, M.: *Die alte Stoa und ihr Naturbegriff*, Aufbau-Verlag, Berlin, **1956**.
[68] Forschner, M.: *Die stoische Ethik*, Klett-Cotta, Stuttgart, **1981**.
[69] Pohlenz, M.: *Die Stoa I*, 5. Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, **1978**.
[70] Pohlenz, M.: *Stoa und die Stoiker*. in: Hoenn, K. (Hg.): Die Bibliotheke der alten Welt, Artemis-Verlag, Zürich, **1950**.
[71] Barth, P.: *Die Stoa*, 2. Auflage, Fr, Frommanns Verlag, Stuttgart, **1908**.
[72] Sambursky, S.: *Physics of the Stoics*, Routledge and Kegan Paul, London, **1959**.
[73] Sambursky, S.: *Der Weg der Physik*, Artemis Verlag, Zürich, München, **1975**.
[74] Paparazzo, E.: *Why take chemistry stoically?* in: Foundations of Chemistry, **2008**, 63-75.
[75] Weinkauf, W.: *Die Stoa-Kommentierte Werkausgabe*, Pottloch Verlag, Augsburg, **1994**.
[76] Galilei, G. (1630): *Dialoge über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme*. Herausgegeben von: Sexl, R. and Meyenn, K. v., Stuttgart, Teubner, **1982**.
[77] Freiesleben, H.-C.: *Galilei als Forscher*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **1968**.

[78] Galilei, G. (1610): *Sidereus Nuncius - Nachricht von neuen Sternen*. Herausgegeben von: Blumenberg, H., 2. Auflage, Inselverlag, Frankfurt am Main, **2002**.
[79] Hall, A. R.: *From Galileo to Newton*, Dover Publications, Inc., New York, **1981**.
[80] Piccolino, M. and Wade, N. J.: *Galileo Galilei's vision of the senses*. in: Trend in Neurosciences, **2008**, 585.
[81] de Padova, T.: *Galileo the Artist*. in: Nature, **2008**, 289.
[82] Gerlach, W. and List, M.: *Johannes Kepler - der Begründer der modernen Astronomie*, 3. Auflage, Piper, München, Zürich, **1987**.
[83] Methuen, C.: *Keplers's Tübingen*, Ashgate, Aldershot, Brookfield USA, Singapore, Sydney, **1998**.
[84] Wolff, M.: *Geschichte der Impetustheorie*, Suhrkamp, Frankfurt am Main, **1978**.
[85] Grün, K.-L.: *Vom unbewegten Beweger zur bewegenden Kraft*, mentis, Paderborn, **1999**.
[86] Schmutzer, E. and Schütz, W.: *Galileo Galilei*, Band 64, Verlag Harry Deutsch, Thun, Frankfurt am Main, **1989**.
[87] Koyré, A.: *Galilei, Die Anfänge der neuzeitlichen Wissenschaft*. in: Raulff, U. (Hg.): Kleine Kulturwissenschaftliche Bibliothek, Verlag Klaus Wagenbach, Berlin, **1988**.
[88] Hamel, J.: *Geschichte der Astronomie*, 2. Auflage, Kosmos, Stuttgart, **2002**.
[89] Hamel, J.: *Nicolaus Copernicus - Leben, Werk und Wirkung*, Wissenschftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **1994**.
[90] Teichmann, J.: *Wandel des Weltbildes*, Deutsches Museum, München, **1980**.
[91] Gingerich, O.: *The Bool Nobody Read*, William Heinemann, London, **2004**.
[92] Finochiaro, M. A.: *The Church and Galileo*. in: The catholic historical review, **2008**, 260-282.
[93] Finochiaro, M. A.: *Retrying Galileo*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, **2005**.
[94] Machamer, P.: *The Many Trials of Galiloe Galilei*. in: Science, **2005**, 58.
[95] Freiesleben, H.-C.: *Große Naturforscher - Galileo Galilei - Physik und Glaube an der Wende zur Neuzeit*, Band 20, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Stuttgart, **1969**.
[96] Ascenzi, A.: *Biomechanics and Galileo Galilei*. in: Journal of Biomechanics, **1993**, 95-100.
[97] McMullin, E.: *Galileo Galilei*. in: Campbell, H. A. and Looy, H. (Hg.): A Science and Religion Primer, Bacer Acedemic, University of Notre Dame, USA, **2009**.
[98] Müller, W.: *Bacon, Francis*. in: W. R. Pötsch, A. Fischer and Müller, W. (Hg.): Lexikon bedeutender Chemiker, Harri Deutsch, Thun, Frankfurt a. M., **1989**.
[99] Bacon, F. (1620): *Neues Organon*. Herausgegeben von: Krohn, W., 2. Teilband, Felix Meiner Verlag, Hamburg, **1990**.
[100] Bacon, F. (1620): *Neues Organon*. Herausgegeben von: Krohn, W., 1. Teilband, 2. Auflage, Felix Meiner Verlag Hamburg, **1999**
[101] Bacon, F. (1627): *Neu-Atlantis*. Herausgegeben von: Klein, J., Reclam, Stuttgart, **1982**.
[102] Liebig, J. v.: *Francis Bacon von Verulam und die Methode der Naturforschung*, Literarisch-artistische Anstalt der Gotta'schen Buchhandlung, München, **1863**.
[103] Krohn, W.: *Francis Bacon*, 2. Auflage, Beck, München, **2006**.
[104] Krohn, W.: *Einleitung*. in: Krohn, W. (Hg.): Francis Bacon - Neues Organon, 2. Auflage, Meiner Verlag, Hamburg, **1999**.

[105] Biedermann, G.: *Descartes, René*. in: Lange, E. and Alexander, D. (Hg.): Philosophenlexikon, Dietz Verlag, Berlin, **1982**.
[106] Müller, W.: *Descartes, René*. in: Pötsch, W. R., Fischer, A. and Müller, W. (Hg.): Lexikon bedeutender Chemiker, Harri Deutsch, Thun, Frankfurt, **1988**.
[107] Poser, H.: *René Descartes - Eine Einführung*, Reclam, Stuttgart, **2003**.
[108] Koyré, A.: *Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum*, Suhrkamp, Frankfurt, **1969**.
[109] Descartes, R. (um 1635): *Die Welt oder Abhandlung über das Licht*. Herausgegeben von: Tripp, G. M., VCH Weinheim, **1989**.
[110] Perler, D.: *René Descartes*, Beck, München, **1998**.
[111] Descartes, R. (1637): *Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs*. Herausgegeben von: Fischer, K., Reclam, Stuttgart, **1961**.
[112] Kemmerling, A.: *Idden des Ichs*, Suhrkamp Taschenbuch, Frankfurt am Main, **1996**.
[113] Descartes, R. (1641): *Mediationen*. Herausgegeben von: Wohlers, C., Meiner, Hamburg, **2009**.
[114] Descartes, R. (1644): *Prinzipien der Philosophie*. Herausgegeben von: Wohlers, C., Felix Meiner Verlag, Hamburg, **2005**.
[115] Prechtl, P.: *Descartes zur Einführung*, Junius, Hamburg, **2000**.
[116] Descartes, R. (1628): *Regeln zur Leitung des Geistes*. Herausgegeben von: Buchenau, A., Felix Meiner Verlag, Hamburg, **1966**.
[117] Engele, E.-M.: *Descartes*, Reclam, Leipzig, **2005**.
[118] Cassirer, E.: *Descartes, Lehre - Persönlichkeit - Wirkung*, Bermann-Fischer Verlag, Stockholm, **1939**.
[119] Einstein, A.: *Foreword*. in: Bell, G. (Hg.): Opticks, Dover Publications, Dover, **1952**.
[120] Müller, W.: *Newton, Isaac*. in: Pötsch, W. R., Fischer, A. and Müller, W. (Hg.): Lexikon bedeutender Chemiker, Harri Deutsch, Thun, Frankfurt, **1989**.
[121] Treder, H.-J.: *Newton, Isaac*. in: Lange, E. and Alexander, D. (Hg.): Philosophenlexikon, Diets Verlag, Berlin, **1982**.
[122] Newton, I. (1687): *Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie*. Herausgegeben von: Dellian, E., Felix Meiner, Hamburg, **1988**.
[123] Drake, S.: *Newtons Apfel und Galileis "Dialog"*. in: Seibold, E. and Neuser, W. (Hg.): Newtons Universum, Spektrum, Heidelberg, **1990**.
[124] Henry, J.: *Newton, die Materie und die Magie*. in: Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M. and Wilson, R. (Hg.): Newtons Werk, die Begründung der modernen Naturwissenschaft, Birkhäuser Verlag, Basel, **1993**.
[125] Newton, I. (1642-1727): *Über die Gravitation*. Herausgegeben von: Böhme, G., Vittorio Klostermann, Frankfurt/M., **1988**.
[126] Tipler, P. A. and Mosca, G.: *Physik für Wissenschaft und Ingenieure*, 6. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, **2009**.
[127] Wagner, F.: *Isaac Newton, Im Zwielicht zwischen Mythos und Forschung*, Verlag Karl Alber, Freiburg, München, **1976**.
[128] Golinski, J.: *Das geheime Leben eines Alchemisten*. in: Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M. and Wilson, R. (Hg.): Newtons Werk, die Begründung der modernen Naturwissenschaft, Birkhäuser Verlag, Basel, **1993**.
[129] Buchholtz, K.-D.: *Isaac Newton als Theologe*, Luther Verlag, Witten, **1965**.

[130] Wickert, J.: *Isaac Newton, Ansichten eines universalen Geistes*, Piper, München, Zürich, **1983**.
[131] Wußing, H.: *Die große Erneuerung*, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, **2002**.
[132] Schneider, I.: *Isaac Newton*, Verlag C.H. Beck, München, **1988**.
[133] Brugger, W.: *Summe einer philosophischen Gotteslehre*, Johannes Berchmans, München, **1979**.
[134] Riedlinger, H.: *Zu den Anfängen der "natürlichen Theologie" und ihrer bleibenden Bedeutung*. in: Bresch, C., Daecke, S. M. and Riedlinger, H. (Hg.): Kann man Gott aus der Natur erkennen?, 2. Auflage, Herder, Freiburg, Basel, Wien, **1990**.
[135] Philipp, W.: *Das Werden der Aufklärung in theoogiegeschichtlicher Sicht*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, **1957**.
[136] Beck, H.: *Natürliche Theologie*, Universitätsverlag Anton Pustet, München, Salzburg, **1986**.
[137] Achtner, W.: *Physik, Mystik und Christentum*, Peter Lang, Frankfurt am Main, **1991**.
[138] König, E.: *Kant und die Naturwissenschaft*. in: König, E. (Hg.): Die Wissenschaft, Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien, Heft 22, Freidrich Viehweg und Sohn, Braunschweig, **1907**.
[139] Irrlitz, G.: *Kant Handbuch*, 2. Auflage, J. B. Metzler, Stuttgart, Weimar, **2010**.
[140] Kant, I. (1781/1787): *Kritik der reinen Vernunft*. Herausgegeben von: Heidemann, I., Reclam, Stuttgart, **2009**.
[141] Gölz, W.: *Kants "Kritik der reinen Vernunft" im Klartext*, 2. Auflage, Mohr Siebeck UTB, Tübingen, **2008**.
[142] Seckel, A.: *Große Meister der optischen Illusionen*, Band 1, Tosa Verlagsgesellschaft, Wien, **2005**.
[143] Höffe, O.: *Immanuel Kant*, 3. Auflage, C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München, **1992**.
[144] Kant, I. (1786): *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. Herausgegeben von: Pollok, K., Philosophische Bibliothek Band 508, Felix Meiner Verlag, Hamburg, **1997**.
[145] Mudroch, V.: *Kants Theorie der physikalischen Gesetze*, de Gruyter, Berlin, New York, **1987**.
[146] Tetens, H.: *Kants "Kritik der reinen Vernunft", Ein systematischer Kommentar*, Reclam, Stuttgart, **2006**.
[147] Pollok, K.: *Immanuel Kant, Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Felix Meiner Verlag, Hamburg, **1997**.
[148] Kant, I. (1788): *Kritik der praktischen Vernunft*. Herausgegeben von: Kopper, J., Reclam, Stuttgart, **2008**.
[149] Höffe, O.: *Einführung in die Kritik der praktischen Vernunft*. in: Höffe, O. (Hg.): Immanuel Kant, Kritik der oraktischen vernunft, Akademie Verlag, Berlin, **2002**.
[150] Kant, I. (1785): *Grundlegung zur Metaphysik der Sitten*. Herausgegeben von: Horn, C., Mieth, C., Scarano, N., Suhrkamp, Frankfurt am Main, **2007**.
[151] Jodl, F.: *Geschichte der Ethik*, 2. Band, Magnus-Verlag, Stuttgart,
[152] Baumanns, P.: *Kants Ethik, die Grundlehre*, Königshausen & Neumann, Würzburg, **2000**.
[153] Kant, I. (1797): *Die Metaphysik der Sitten*. Herausgegeben von: Ebeling, H., Reclam, Stuttgart, **2007**.

[154] Baron, M.: *Handeln aus Pflicht*. in: Ameriks, K., Sturma, D. (Hg.): Kants Ethik, mentis, Paderborn, **2004**.

[155] Kant, I. (1798): *Der Streit der Fakultäten*. Herausgegeben von: Reich, K., Philosophische Bibliothek Band 252, Felix Meiner Verlag, Hamburg, **1959**.

[156] Engels, E.-M., Betz, O., Köhler, H.-R. and Potthast, T.: *Charles Darwin und seine Bedeutung für die Wissenschaften - Eine Einführung*. in: Engels, E.-M., Betz, O., Köhler, H.-R. and Potthast, T. (Hg.): Charles Darwin und seine Bedeutung für die Wissenschaften, Attempo Verlag, Tübingen, **2011**.

[157] Darwin, C. *Zur Evolution der Arten und zur Entwicklung der Erde*. Herausgegeben von: Seuß, R., Studienbibliothek 13, Suhrkamp, Frankfurt am Main, **2009**.

[158] Darwin, C.: *Die Enstehung der Arten*, Nicol Verlag, Hamburg, **2008**.

[159] Hoßfeld, U. and Olsson, L. *Kommentar zu Charles Darwins Evolution der Arten und zur Entwicklung der Erde*. Herausgegeben von: Seuß, R., Studienbibliothek 13, Suhrkamp, Frankfurt am Main, **2009**.

[160] Blömke, S.: *Erste Phase an Universitäten und pädagogischen Hochschulen*. in: Blömke, S., Reinhold, P., Tulodiecki, G. and Wildt, J. (Hg.): Handbuch der Lehrerbildung, Klinkhardt, Kempten, **2004**.

[161] Engels, E.-M.: *Der Mensch, das moralfähige Tier - Zur Antropologie und Ethik von Charles Dawin*. in: Engels, E.-M., Betz, O., Köhler, H.-R. and Potthast, T. (Hg.): Charles Darwin und seine Bedeutung für die Wissenschaften, Attempo Verlag, Tübingen, **2011**.

[162] Olson, R. G.: *Science and Religion. From Copernicus to Darwin*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, **2004**.

[163] Michelini, F.: *Darwin und das Problem der Zweckmäßigkeit der Natur*. in: Bayertz, K., Gerhard, M. and Jaeschke, W. (Hg.): Weltanschauung, Philosophie und Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert, Band 2: Der Darwinismus-Streit, Felix Meiner Verlag, Hamburg, **2007**.

[164] Strohmeyer, I.: *Quantentheorie und Transzendentalphilosophie*. in: Mittelstaedt, P. (Hg.): Grundlagen der exakten Naturwissenschaften, Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxford, **1995**.

[165] Heisenberg, W.: *Physik und Philosophie*, Ullstein, Frankfurt am Main, Berlin, Wien, **1973**.

[166] Heisenberg, W.: *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, Hirzel Verlag, Stuttgart, **1973**.

[167] Liesenfeld, C.: *Philosophisches Weltbild des 20. Jahrhunderts. Eine interdisziplinäre Studie zu Max Planck und Werner Heisenberg.* in: Epistemata (Hg.): Würzburger wissenschaftliche Schriften, Reihe Philosophie. Band 113., Königshausen & Neumann, Würzburg, **1992**.

[168] Heisenberg, W.: *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik. R. Piper & Co Verlag, München*. in: Blum, W., Dürr, H.-P. and Rechenberg, H. (Hg.): Werner Heisenberg. Gesammelte Werke, Band III, Piper, München, **1984**.

[169] Stöckler, M.: *Hat sich Werner Heisenberg zu Recht auf Platon berufen?* in: Geyer, B., Herwig, H. and Rechenberg, H. (Hg.): Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph. Verhandlungen der Konfernez "Werner Heisenberg als Physiker und Philosoph in Leipzig", Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, **1993**.

[170] Omeljanowski, M. E.: *Philosophische Probleme der Quantenmechanik*, VEB Deutscher Verlag der WIssenschaften, Berlin, **1962**.

[171] v. Weizäcker, C. F.: *Werner Heisenberg als Physiker und Philosoph*. in: Geyer, B., Herwig, H. and Rechenberg, H. (Hg.): Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph. Verhandlungen der Konferenz "Werner Heisenberg als Physiker und Philosoph ind Leipzig", Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, **1993**.

[172] Hörz, H.: *Zum Verhältnis von Theorie und Experiment*. in: Geyer, B., Herwig, H. and Rechenberg, H. (Hg.): Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph. Verhandlungen der Konferenz "Werner Heisenberg als Physiker und Philosoph in Leipzig", Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, **1993**.

[173] Heisenberg, W.: *Philosophische Probleme der Elementarteilchen. Öffentliche Sitzung der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 1967*. in: Blum, W., Dürr, H.-P. and Rechenberg, H. (Hg.): Werner Heisenberg. Gesammelte Werke, Band II, Piper, München, **1984**.

[174] Knorr Cetina, K.: *Die eine Vernunft und die vielen Rationalitäten. Der gemeinsame Boden der Wissenschaften*. in: Magerl, G. and Schmidinger, H. (Hg.): Einheit und Freiheit der Wissenschaft. Idee und Wirklichkeit., Reihe: Wissenschaft, Bildung, Politik. Herausgegeben von der Österreichischen Forschungsgemeinschaft, Band 11, Böhlau Verlag, Wien, Köln, Weimar, **2008**.

[175] Bammé, A.: *Wissenschaft im Wandel*, Metropolis-Verlag, Marburg, **2008**.

[176] v. Müller, A.: *Sinnstiftung und Erkenntnis. Vom Nutzen der Geistes- und Naturwissenschaften*. in: Berka, W. and Schmidinger, H. (Hg.): Vom Nutzen der Wissenschaften, Reihe: Wissenschaft, Bildung, Politik. Herausgegeben von der Österreichischen Forschungsgemeinschaft, Band 10, Böhlau Verlag, Wien, Köln, Weimar, **2007**.

[177] Agazzi, E.: *Das Gute, das Böse und die Wissenschaft*, Akademie Verlag, Berlin, **1995**.

[178] Kemp, P.: *Ethik, Wissenschaft und Gesellschaft*. in: Mieth, D. (Hg.): Ethik und Wissenschaft in Europa, Verlag Karl Albert, Freiburg, München, **2000**.

[179] Jonas, H.: *Das Prinzip Verantwortung*, Inselverlag, Frankfurt, **2003**.

[180] Höffe, O.: *Der klassische Utilitarismus*. in: Höffe, O. (Hg.): Einführung in die utilitaristische Ethik. Klassische und zeitgenössische Texte, 4. Auflage, A. Francke Verlag, Tübingen, Basel, **2013**.

[181] Bentham, J.: *Introduction to the Principles of Morals and Legislation*, Dover Publications, Mineola, New York, **2007**.

[182] Brandt, R. B.: *Die Vorzüge einer bestimmten Form des Regelutilitarismus*. in: Höffe, O. (Hg.): Der klassische Utilitarismus. Klassische und zeitgenössische Texte, 4. Auflage, A. Francke Verlag, Tübingen, Basel, **2013**.

[183] Jonas, H.: *Technik, Medizin, Ethik*, Inselverlag, Frankfurt, **1987**.

[184] Jonas, H.: *Warum die Technik ein Gegenstand für die Ethik ist: fünf Gründe.* in: Lenk, H. and Ropohl, G. (Hg.): Technik und Ethik, Reclam, Stuttgart, **1993**.

[185] Gräfrath, B., Huber, R. and Uhlemann, B.: *Einheit, Interdisziplinarität, Komplementarität*. in: Mittelstrass, J. (Hg.): Forschungsbericht 3 der Arbeitsgruppe Einheit der Wissenschaften, Walter de Gruyter, Berlin, New York, **1991**.

[186] Donald, J. G.: *The Commons*. in: Kreber, C. (Hg.): The University and its Disciplines, Routledge, New York, **2009**.

[187] Hirsch Hadorn, G., Pohl, C. and Bammer, G.: *Solving Problems through Interdisciplinary reasearch*. in: Frodemann, R. u. A. (Hg.): The Oxford Handbook of Interdisciplinarity, Oxford University Press, New York, **2010**.

[188] Ellis, R. J.: *Problems May Cut Right across the Boerders: Why we Cannot Do Without Interdisciplinarity*. in: Chandramohan, B. and Fallows, S. (Hg.): Interdisciplinary Learning and Teaching in Higher Education, Routledge, New York, **2009**.

[189] Wahrig, B. and Zuber, S.: *InterViduum. Perspektiven für die/den interdisziplinierte/n Wissenschaftler/in*. in: Weber, J. (Hg.): Interdisziplinierung? Zum Wissenstransfer zwischen Geistes-, Sozial- und Technowissenschaften, transcipt, Bielefled, **2010**.

[190] Janich, P.: *Interdisziplinarität, Transdisziplinarität, Metadisziplinarität - Chimäre oder Realität?* in: Magerl, G. and Schmidinger, H. (Hg.): Einheit und Freiheit der Wissenschaft. Idee und Wirklichkeit., Reihe: Wissenschaft, Bildung, Politik. Herausgegeben von der Österreichischen Forschungsgemeinschaft, Band 11, Böhlau Verlag, Wien, Köln, Weimar, **2008**.

[191] Jahn, T.: *Transdisziplinarität in der Forschungspraxis*. in: Bergmann, M. and Schramm, E. (Hg.): Transdisziplinäre Forschung, Campus Verlag, Frankfurt am Main, **2008**.

[192] Gruss, P. and Schüth, F.: *Die Zukunft der Energie*, C.H. Beck, München, **2008**.

[193] Dow, K. and Downing, T. E.: *Weltatlas des Klimawandels*, dr. Götze Land & Karten und EVA, Hamburg, **2007**.

[194] Petermann, J.: *Sichere Energie im 21. Jahrhundert*, 3. Auflage, Hamburg, Hoffmann und Campe Verlag, **2008**.

[195] Brüning, B.: *Philosophieren in der Sekundarstufe*, Beltz Verlag, Weinheim, Basel, Berlin, **2003**.

[196] Pfeifer, V.: *Ethisch argumentieren*, Schöningh, Braunschweig, Paderborn, Darmstadt, **2009**.

[197] RWE: *Energie! Entdecke was die Welt bewegt!*, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, **2008**.

[198] Quaschning, V.: *Erneuerbare Energien und Klimaschutz*, 2. Auflage, Hanser, München, **2010**.

[199] Scheer, H.: *Energieautonomie*, Kunstmann, München, **2005**.

Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen Version der Arbeit entfernt.

The curriculum vitae was removed from the electronic version of the paper.

DANKSAGUNG

Ich möchte zuletzt allen danken, die es ermöglicht haben, diese Arbeit zu planen, durchzuführen und fertig zu stellen.

Allen voran danke ich Herrn Prof. Dr. Schindler, der es mir ermöglicht hat diese Arbeit in seiner Arbeitsgruppe durchzuführen und der mir immer ein guter Ansprechpartner bei allen Problemen und Ideen war. Danke auch dafür, dass ich so viele meiner eigenen Gedanken verwirklichen konnte und für die offenen Ohren zu so einem doch nicht hundertprozentig chemischen Thema.
Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Achtner für seine intensive Unterstützung in allen nicht-naturwissenschaftlichen Bereichen, für die guten inhatlichen Diskussionen und für die formalen Ratschläge. Weiterhin gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. Göttlich für die Hilfe in vielen inhaltlichen und organisatorischen Fragen.

Für die finanzielle Unterstützung bedanke ich mich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung ohne deren großzügige Bewilligung das Projekt *EnergEthik* nicht durchführbar gewesen wäre. Herzlichen Dank auch dem Schöningh Verlag, vor allem Frau Kramer, für die Betreuung während der Publikationsphase von *Wissenschaftethik*.

Ich bedanke mich ebenfalls bei Dr. Stefanie Dose aus der Anglistik für die Zusammenarbeit und intensive Arbeit am Fragebogen der Promotionsstudierendenumfrage. Bei Elena Haibel möchte ich mich für ihre großartige Unterstützung im *EnergEthik* Projekt bedanken (ohne dich würde ich jetzt immernoch Versuche im Schülerlabor aufbauen). Mein herzlicher Dank gilt auch allen beteiligten Schulen der Umfragen.

Ich bedanke mich bei allen Kolleginnen und Kollegen der AG Schindler, die die Zeit der Promotion so angenehm und auch lustig gemacht haben, dass es mir in der letzten Zeit wirklich gefehlt hat jeden Tag im Büro zu sein. Vor allen danke ich Alex, Anja, Thomas, Jörg, Janine und Christian und ganz besonders Sabrina (danke für deine Freundschaft und deine tausend offenen Ohren, die du für mich gehabt hast).
Ich danke auch allen aus meinem Semester für das spannende Studium mit viele Höhen und Tiefen, vor allem aber auch mit viel Lachen. Elli, Alex und Faiza, euch danke ich besonders für eure Freundschaft über den Hörsaal hinaus (und über die Promotionszeit hinaus).

Zuletzt danke ich meiner Familie, vor allem meiner Mama und meinem Bruder, die mir immer gute Zuhörer waren und mich immer unterstützt haben.
Und Dennis, du hättest nochmal genauso viele Seiten verdient. Es ist leider einfach unmöglich in Worten aufzuschreiben wie sehr ich dir dankbar bin. Danke für dein Verständnis, deine Unterstützung, dafür, dass du stark bist wenn ich schwach bin und vor allem für unsere wundervolle, kleine Familie!

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre: „Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

_____

Jennifer Blank