

**Gestaltung einer integrierten Lernumgebung zur Förderung der
Problemlösekompetenz im Physikunterricht
- eine Design-Based-Research-Studie -**

von

Stefan Pietrusky
aus Frankfurt Oder

Angenommene Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie
Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Universität Koblenz-Landau

Berichterstatter:

Prof. Dr. Alexander Kauertz, Erster Berichterstatter
Prof. Dr. Sandra Nitz, Zweiter Berichterstatter

Tag der Disputation: 09.11.2020

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig verfasst habe. Alle in der Arbeit benutzten Hilfsmittel und Quellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Dissertation wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde im In- oder Ausland zur wissenschaftlichen Prüfung eingereicht und auch noch nicht veröffentlicht.

Niederkirchen, 01.06.2020, Stefan Pietrusky

Ort, Datum, Name (Unterschrift)

Zusammenfassung

Internationale Bildungsstudien (TIMSS und PISA) offenbarten, dass es deutschen Schülern nur begrenzt gelingt, ihr erworbenes Wissen im Physikunterricht zur Problemlösung in neuen Kontexten zu nutzen. Als Grund nennen die Studien die gering ausgeprägte Kompetenzerwartung in Bezug zum Fach Physik. Die Folge ist eine geringe Motivation der Lernenden, physikalische Aufgaben zu lösen. Studien zeigen aber auch, dass die Motivation beim Lernen durch den Einsatz digitaler Lernmedien gesteigert werden konnte. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit untersucht, ob das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten durch das Lernen in einer integrierten Lernumgebung gefördert werden kann. Im Rahmen eines Design-Based-Research-Forschungsansatzes (DBR) wurde eine integrierte Lernumgebung „Wärmelehre“ mit digitalen Lernmedien für den Physikunterricht gestaltet, die dann in zwei Schulformen (IGS und Gymnasium) innerhalb einer quasi-experimentellen Feldstudie erprobt wurde. Im 1. Zyklus des DBR wurden die Wirkungen des selbstständigen Lernens mit digitalen/analogen Medien in Einzelarbeit untersucht. Die Ergebnisse der Wissenstests zeigen einen höheren Lernerfolg bei den Lernenden der Experimentalgruppen, der sich aber nicht signifikant von den Lernenden der Kontrollgruppen (analoge Medien) unterscheidet. Die Lernenden konnten sich in der integrierten Lernumgebung mit Unterstützung beider Medienformate selbstständig Fachwissen aneignen und problembasierte Textaufgaben lösen. Die Ergebnisse der Befragungen der Lernenden zeigen, dass sich die Lerngruppen signifikant in ihrem erlebten Grad der Selbststeuerung unterscheiden. Die Lernenden beider Experimentalgruppen bewerten ihren Handlungsspielraum besser als die Lernenden der beiden Kontrollgruppen. Ebenfalls konnte festgestellt werden, dass sich die individuellen Lernvoraussetzungen, der Lernstiltyp, das Kompetenzerleben und die Aspekte der Mediengestaltung wechselseitig beeinflussen und auf den Lernerfolg wirken. Die Ergebnisse der Lernstilanalyse zeigen, dass sich selbst kleine Lerngruppen heterogen zusammensetzen. Demnach scheint es für einen guten Lernerfolg notwendig zu sein, dass die Lehrenden, die Lernumgebung an die individuellen Lernpräferenzen der Lernenden der Lerngruppe anpassen. Aus den Ergebnissen lässt sich als Konsequenz für den Physikunterricht ableiten, dass Selbstlernphasen mit digitalen Lernmedien regelmäßig in den Unterricht integriert werden sollten, um die Problemlöse- und die Selbststeuerungskompetenz zu fördern. Es ist von Vorteil, wenn die Lehrenden für die Gestaltung einer Lernumgebung, das Vorwissen, die individuellen Lernvoraussetzungen und die Zusammensetzung der Lerngruppe (Lernstiltyp) als Qualitätsdimensionen erfassen. Im Re-Design werden Vorschläge unterbreitet, wie die integrierte Lernumgebung lernstilgerecht weiterentwickelt werden kann. Im 2. Zyklus soll dann erforscht werden, ob sich Unterschiede im Lernerfolg und in den untersuchten Aspekten zeigen, wenn die Lernenden in Einzelarbeit, in Partnerarbeit oder in ihrer Lernstilgruppe selbstgesteuert lernen, um die Lernumgebung zyklisch weiterzuentwickeln.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	8
Abbildungsverzeichnis	10
0 Einleitung	11
1 Lernen im Physikunterricht der Sekundarstufe I	16
2 Lernen mit digitalen Medien	19
2.1 Begriffsbestimmung: Lernmedien	19
2.2 Merkmale digitaler Medien	20
2.3 Gestaltungsprinzipien nach lerntheoretischen Ansätzen	22
2.4 Lernpsychologische Theorien zum Lernen mit digitalen Medien	23
2.4.1 Cognitive Load Theorie von Sweller	24
2.4.2 Kognitive Theorie multimedialen Lernens von Mayer	27
2.4.3 Integratives Modell des Text -und Bildverständnisses von Schnotz	28
2.4.4 Integratives Modell multimedialer Effekte beim Lernen von Hede	29
2.4.5 Kognitive Flexibilitätstheorie von Spiro	31
2.5 Gestaltungsprinzipien für digitalen Lernmedien	32
2.6 Gestaltungsempfehlungen für Darstellungsformen	33
2.6.1 Gestaltung von Texten	33
2.6.2 Gestaltung von Bildern	35
2.6.3 Gestaltung von Animationen	36
2.6.4 Gestaltung von Simulationen	36
2.7 Gestaltung von Problemlöseaufgaben	37
2.8 Psychologische Voraussetzungen des Lernens mit digitalen Medien	39
2.9 Selbstgesteuertes Lernen mit digitalen Medien	41
2.10 Berücksichtigung von Lernstilen beim Lernen mit digitalen Medien	42
3 Lernen mit digitalen Medien im Physikunterricht der Sekundarstufe I	46
3.1 Digitale Lernangebote für den Physikunterricht der Sekundarstufe I	46
3.2 Lernformen bei der Nutzung von digitalen Medien im Physikunterricht der Sekundarstufe I	47
3.3 Selbstgesteuertes Lernen mit digitalen Medien im Physikunterricht	48
3.4 Forschungsergebnisse zur Lernwirksamkeit von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht	50
3.5 Schlussfolgerungen für den Physikunterricht der Sekundarstufe I	51

4 Gestaltung einer integrierten Lernumgebung mit digitalen Medien für den Physikunterricht der Sekundarstufe I zum Thema „Wärmelehre“	52
4.1 Handlungsanalyse	52
4.2 Zielgruppe	53
4.3 Lernzielanalyse	53
4.3.1 Richtziele	54
4.3.2 Grobziele	54
4.3.3 Feinziele	54
4.3.3.1 Sachbezogene Feinziele	54
4.3.3.2 Prozessbezogene Feinziele	55
4.4 Kompetenzen	55
4.5 Bedingungsanalyse	57
4.6 Didaktische Konzeption der Lernumgebung „Wärmelehre“	57
4.7 Gestaltung des digitalen Lernmoduls „Wärmelehre“	59
4.7.1 Inhaltliche Strukturierung	59
4.7.1.1 Sequenzierung des Lernmoduls	59
4.7.1.2 Aufbereitung der Lerninhalte	60
4.7.2 Technische Umsetzung	63
4.7.3 Grafische Umsetzung	64
4.7.3.1 Texte	64
4.7.3.2 Bilder	65
4.7.3.3 Animationen	66
4.7.3.4 Textaufgaben	68
4.7.3.5 Zusammenfassung der grafischen Überlegungen	69
4.7.4 Mediendidaktisches Konzept	70
5 Forschungsdesign „Design-Based-Research“	71
5.1 Der Ablauf des DBR	71
5.2 Forschungsfragen	72
5.3 Untersuchungsdesign der Quasi-experimentellen Feldstudie	73
5.4 Stichproben	75
5.4.1 Stichprobenbeschreibung- Integrierte Gesamtschule	75
5.4.2 Stichprobenbeschreibung- Gymnasium	76
5.5 Ablauf der Studie	77
5.6 Zeitlicher Ablauf der Studie	78
5.7 Erhebungsinstrumente	80
5.7.1 Textaufgaben-Test	80
5.7.2 Befragungen	81

5.7.2.1 Schülerfragebogen - Medien 1	82
5.7.2.2 Schülerfragebogen - Medien 2	84
5.7.3 Lernstilttest	85
5.8 Gütekriterien	86
5.9 Auswertungsmethoden	87
6 Ergebnisse	91
6.1 Voranalyse	91
6.1.1 Ergebnisse des Tests zum Vorwissen „Wärmelehre“	91
6.1.2 Ergebnisse des Lernstilttests nach D. Kolb zur Ermittlung des Lernstiltyps	93
6.1.3 Ergebnisse der Befragung zu den individuellen Lernvoraussetzungen	94
6.2 Hauptanalyse	96
6.2.1 Ergebnisse der Leistungsentwicklung	97
6.2.1.1 Ergebnisse des TCI-Pretests	97
6.2.1.2 Ergebnisse des TCI-Posttests	98
6.2.1.3 Geschlechtsspezifische Ergebnisse der Wissenstests	99
6.2.1.4 Korrelationsanalyse in Bezug der individuellen Lernvoraussetzungen auf den Lernerfolg	101
6.2.2 Ergebnisse zum erlebten Handlungsspielraum in der Lernumgebung	102
6.2.3 Ergebnisse zur Selbstregulation während des Lernprozesses	104
6.2.4 Ergebnisse hinsichtlich der Mediengestaltung	106
6.2.5 Ergebnisse der Lernstiltypengruppenanalyse	109
6.2.5.1 Analyse der Lernstiltgruppen hinsichtlich des Lernerfolgs in den Wissenstests	109
6.2.5.2 Analyse der Lernstiltgruppen in Bezug auf die Befragungen	112
7 Diskussion	116
7.1 Fragestellungen und Ziele	116
7.2 Forschungsfrage 1	119
7.3 Forschungsfrage 2	122
7.4 Forschungsfrage 3	127
7.5 Forschungsfrage 4	129
7.6 Forschungsfrage 5	132
7.7 Forschungsfrage 6	135
7.8 Diskussion weiterer Ergebnisse	139

7.8.1 Ergebnisse des schulspezifischen Vergleichs	139
7.8.2 Ergebnisse der multivariaten Korrelationen	142
7.9 Zusammenfassung	149
8 Entwicklung des Re-Designs	153
8.1 Qualitätsdimensionen integrierter Lernumgebungen	153
8.2 Ablauf des 2. Zyklus	155
9 Ausblick	158
Literaturverzeichnis	161
Anhang	170
Anhang A - Statistische Auswertung - Stichprobe 1 (IGS)	170
Anhang B - Statistische Auswertung - Stichprobe 2 (Gymnasium)	181
Anhang C - Auswertung Fragebögen Excel	191
Anhang D - Kolb-Test	221
Anhang E - Fragebogen Medien 1 und Medien 2	226
Anhang F - Fragenbogen Wissenstests	233
Anhang G - Selbstlernmodul Wärmelehre	246
Lebenslauf	278

TABELLENVERZEICHNIS

- Tab. 1: Gesamtübersicht der Studie
- Tab. 2: Stichprobenbeschreibungen - Integrierte Gesamtschule
- Tab. 3: Stichprobenbeschreibungen Untersuchung 2 - Gymnasium
- Tab. 4: Zweifaktorieller Messwiederholungsplan (2x3)
- Tab. 5: Gruppenvergleich - Test: Fachwissen „Wärmelehre“- Stichprobe 1
- Tab. 6: Gruppenvergleich Test: Fachwissen „Wärmelehre“ - Stichprobe 2
- Tab. 7: Verteilung der Lernstiltypen - Stichprobe 1 (IGS)
- Tab. 8: Verteilung der Lernstiltypen - Stichprobe 2 (Gymnasium)
- Tab. 9: Median und Quartilsabstand im Vergleich Experimental/Kontrollgruppe
- Tab. 10: Median und Quartilsabstand im Vergleich Experimental/Kontrollgruppe
- Tab. 11: Vergleich Wissenstests- Experimental-, Kontrollgruppe (IGS)
- Tab. 12: Vergleich Wissenstests- Experimental-, Kontrollgruppe (Gymnasium)
- Tab. 13: Geschlechtsspezifischer Gruppenvergleich - Tests - Stichprobe 1
- Tab. 14: Geschlechtsspezifischer Gruppenvergleich - Test - Stichprobe 2
- Tab. 15: Personenmerkmal - Grad der erlebten Selbststeuerung - Gruppenvergleich (Stichprobe 1)
- Tab. 16: Personenmerkmal - Grad der erlebten Selbststeuerung - Gruppenvergleich (Stichprobe 2)
- Tab. 17: Vergleich der Lerngruppen - Lernverhalten - Stichprobe 1
- Tab. 18: Vergleich der Lerngruppen - Lernverhalten - Stichprobe 2
- Tab. 19: Vergleich der Lerngruppen - Mediengestaltung - Stichprobe 1
- Tab. 20: Vergleich der Lerngruppen - Mediengestaltung - Stichprobe 2
- Tab. 21: Stichprobe 1 - IGS - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Experimentalgruppe
- Tab. 22: Stichprobe 1 - IGS - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Kontrollgruppe
- Tab. 23: Stichprobe 2 - Gymnasium - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Experimentalgruppe
- Tab. 24: Stichprobe 2 - Gymnasium - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Kontrollgruppe
- Tab. 25: Untersuchung 1 - IGS - Befragung - Experimentalgruppe

Tab. 26: Untersuchung 1 - IGS - Befragung - Kontrollgruppe

Tab. 27: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Experimentalgruppe

Tab. 28: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Kontrollgruppe

Tab. 29: Geschlechtsspezifischer Vergleich - Stichprobe 1 und Stichprobe 2

Tab. 30: Untersuchung 1 - IGS - Einstellungsbefragung - Experimentalgruppe

Tab. 31: Untersuchung 1 - IGS - Einstellungsbefragung - Kontrollgruppe

Tab. 32: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Experimentalgruppe

Tab. 33: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Kontrollgruppe

Tab. 34: Befragung digitale Medien - Stichprobe 1 und Stichprobe 2

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Auswertungsrads (Quelle: Haller, H.D. Lernstildiagnose), eigene Darstellung

Abb. 2: Koordinatensystem (Quelle: Haller, H.D. Lernstildiagnose), eigene Darstellung

Abb. 3: Wärme-Temperatur-Diagramm, eigene Darstellung

Abb. 4: Wärmeübertragung, eigene Darstellung

Abb. 5: Anomalie des Wassers, eigene Darstellung

Abb. 6: Aufgabe 1 - TCI-Pretest - und TCI-Posttest, eigene Darstellung

Abb. 7: Aufgabe 13 - TCI-Pretest - und TCI-Posttest, eigene Darstellung

Abb. 8: Aufgabe 12 - TCI-Pretest - und TCI-Posttest, eigene Darstellung

Abb. 9: Ablaufskizze des Forschungsvorhabens, eigene Darstellung

Abb. 10: Untersuchungsablauf (1. Zyklus), eigene Darstellung

Abb. 11: Schulspezifische Vergleich der Experimentalgruppen (Orange - IGS; Blau - Gymnasium) im TCI-Pretest

Abb. 12: Schulspezifische Vergleich der Kontrollgruppen (Orange - IGS; Blau – Gymnasium) im TCI-Pretest

Abb. 13: Schulspezifische Vergleich der Experimentalgruppen (Orange - IGS; Blau - Gymnasium) im TCI-Posttest

Abb. 14: Schulspezifische Vergleich der Kontrollgruppe (Orange - IGS; Blau - Gymnasium) im TCI-Posttest

Abb. 15: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 1 - IGS

Abb. 16: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium Teil 1

Abb. 17: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium Teil 2

Abb. 18: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium Teil 3

Abb. 19: Signifikante Korrelationen - Kontrollgruppe der Stichprobe 1 - IGS

Abb. 20: Signifikante Korrelationen - Kontrollgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium

Abb. 21: Wirkmodell für Qualitätsdimensionen integrierter Lernumgebungen nach Pietrusky (D1 = Lernerfolg; D2 = Grad der erlebten Selbststeuerung; D3 = Individuelle Lernvoraussetzungen; D4 = Individuelles Lernverhalten; D5 = Mediengestaltung; D6 = Selbstregulation; ILN = integrierte Lernumgebung)

Abb. 22: Arbeitsmodell Qualitätsdimensionen für eine Integrierte Lernumgebung nach Pietrusky

Abb. 23: Untersuchungsablauf (2. Zyklus), eigene Darstellung

0 Einleitung

Um den Lernenden die Teilhabe an einer durch Naturwissenschaften und Technik geprägten Gesellschaft zu ermöglichen, werden naturwissenschaftliche Fähigkeiten und Fertigkeiten innerhalb der naturwissenschaftlichen Grundbildung in den Bildungseinrichtungen entwickelt. Das Bildungsziel ist, dass die Lernenden naturwissenschaftliche Konzepte verstehen, aus Beobachtungen angemessene Schlussfolgerungen ziehen und ihr erworbenes Prozesswissen auf naturwissenschaftliche Problemstellungen anwenden. Seit Beginn der 2000er Jahre werden PISA-Studien der OECD durchgeführt, um die erworbenen Kompetenzen der Lernenden in den Naturwissenschaften international zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigten, dass deutsche Schüler/innen nur begrenzt ihr erworbenes Wissen in neuen Kontexten anwenden und zum Problemlösen nutzen konnten (Nerdel, 2017). Ein Grund kann in der gering ausgeprägten Kompetenzerwartung in Bezug auf naturwissenschaftliche Fächer liegen (Schröter, 2016). Auch zeigten die Ergebnisse, dass Staaten, in denen eine systematische Rechenschaftslegung über die Ergebnisse erfolgte, insgesamt höhere Leistungen erreichen (KMK, 2005).

Aus diesem Grund wurden von der KMK im Jahr 2004 Bildungsstandards für die drei naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik formuliert. Die Bildungsstandards zeigen die naturwissenschaftlichen Kompetenzen auf, die für einen mittleren Schulabschluss (nach der 10. Jahrgangsstufe) erreicht werden sollen. Bewertet werden die Fähigkeiten und Fertigkeiten nach dem Kompetenzstufenmodell der Scientific Literacy, das auf Grundlage der PISA-Untersuchungen entwickelt wurde.

Um das Problem der begrenzten Anwendung des erworbenen Wissens zu untersuchen, wird das Wirkungsgefüge des schulischen Wissenserwerb betrachtet. Die dazu vorliegenden Forschungsergebnisse der Lehr-Lernforschung zeigen einige Evidenzen für die Auswirkungen von Unterricht auf den Lernerfolg von Lernenden. Da das Angebots-Nutzungs-Modell von Helmke (Kohler, 2013) auf diesen Evidenzen basiert, wird es für die naturwissenschaftliche-didaktische Forschung genutzt. Dieses Rahmenmodell fasst die relevanten Einflussfaktoren zusammen, die für den Lernerfolg der Lernenden von Bedeutung sind. Neben den Merkmalen der Lehrperson, den Voraussetzungen der Lernenden, sind die Merkmale des Unterrichts von Bedeutung.

Zu den Merkmalen des Unterrichts gehören neben der Lernzeit, der Unterrichtsqualität, auch die Gestaltung der angebotenen Lernmaterialien (Nerdel, 2017).

Die Lernmaterialien für eine Lernumgebung, die nach Gabi Reinmann-Rothmeier und Heinz Mandel (2001) als ein planvoll hergestelltes Arrangement von didaktischen, methodischen und medialen Komponenten verstanden wird (Wahl, 2013), sollten so gestaltet sein, dass sie Lernprozesse initiieren, fördern und erleichtern. Somit können die eingesetzten Lernmaterialien zur Verbesserung der Unterrichtsqualität beitragen.

Die praktischen Entscheidungen, welche Lernmaterialien bei der Gestaltung der Lernumgebungen berücksichtigt werden, hängen oft von den pädagogischen Grundorientierungen, also den Auffassungen vom Lehren und Lernen ab und ebenfalls von der Rolle der Lehrenden und Lernenden in der Lernumgebung.

Zwei Positionen zum Lehren und Lernen werden in der gegenwärtigen Unterrichtsforschung diskutiert. Die eine Position präferiert eine gegenstandsorientierte (geschlossene) Lernumgebung. Hier wird Unterrichten im Sinne von Anleiten, Darbieten und Erklären verstanden. Problempunkt ist, dass die aktive Rolle der Lehrende einnimmt und der Lernende vorrangig in einer passiven Rolle bleibt, wodurch die Eigeninitiative und die Selbstverantwortung der Lernenden für den Lernprozess eingeschränkt wird.

Eine Möglichkeit „träges“ Wissen zu vermeiden, beinhaltet die zweite, die konstruktivistische Position, die eine situierte (offene) Lernumgebung vorschlägt. Konstruktivistische Vorstellungen vom Lehren und Lernen gehen davon aus, dass bei Lernprozessen die Eigenaktivität sowie der Kontextbezug im Vordergrund stehen sollten. Ziel situierter Lernumgebungen ist, dass die Lernenden ihre erworbenen Kenntnisse flexibel anwenden, selbstgesteuert lernen, kognitive Strategien und Problemlösefähigkeiten entwickeln. Problempunkt ist, dass in situierten Lernumgebungen die Anleitung und Unterstützung der Lernenden oft ausbleibt, was zur Überforderung führen kann, gerade bei ungünstigen Lernvoraussetzungen (Krapp, 2006).

Eine Möglichkeit die Problempunkte beider Positionen zu berücksichtigen, wird in wissenschaftlichen Untersuchungen in den letzten Jahren diskutiert.

Da die Prozesse des Lehrens (Instruktion) und Lernens (Konstruktion) zeitgleich stattfinden, wird eine 3. Position, die Gestaltung einer integrierten, problemorientierten Lernumgebung nach dem Cognitive Flexibility-Ansatz, vorgeschlagen (Tulodziecki, 2010).

Hier wird die Eigenaktivität und Selbstständigkeit der Lernenden gefördert, ihnen aber zusätzlich Unterstützung (Scaffolding) gegeben durch Bereitstellung von Orientierungshilfen, die schrittweise wieder ausgeblendet (Fading) werden, wenn der Lernende in der Lage ist, die Aufgaben selbständig zu bearbeiten (Zumbach, 2010).

So sollen die Lernenden durch die selbstständige Bearbeitung komplexer Problemaufgaben lernen, ihre Kenntnisse flexibel in neuen Situationen an die jeweiligen Anforderungen anzupassen. Dazu werden die Lerninhalte aus verschiedenen Perspektiven präsentiert, um zum einen ein Verständnis für die Komplexität eines Themas aufzubauen und zum anderen, den Transfer auf andere Problemaufgaben zu ermöglichen (Tulodziecki, 2010).

So zeigen wissenschaftliche Untersuchungen von Dochy, Segers, Van den Bosche & Gijbels (2003), dass problemorientierte Lernumgebungen, in denen realitätsnahe Situationen als Anker des Lehrens und Lernens fungieren, ein Mittelweg zwischen Instruktion und Konstruktion sind. Ziel dieser Lernumgebungen ist, den Erwerb von anwendbarem Wissen

zu unterstützen, ohne den Erwerb von Fachwissen zu vernachlässigen (Krapp, 2006). Empirische Untersuchungen zeigen, dass sich die Lerngruppen in Bildungseinrichtungen sehr heterogen bezüglich ihrer Lernvoraussetzungen zusammensetzen (Salle, 2015). Um einen problemorientierten naturwissenschaftlichen Unterricht durchführen zu können, müssen deshalb die individuellen Unterschiede bei der Unterrichtsgestaltung berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit, um die Heterogenität von Lerngruppen zu berücksichtigen, ist individualisiertes Lernen in Selbstlernphasen. In diesen Phasen muss sich der Lernende bewusst mit dem eigenen Lernen auseinandersetzen und macht dabei die Erfahrung, dass er viele Aspekte des eigenen Lernens durch strategisches Verhalten selbst beeinflussen kann, wodurch das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten gestärkt wird. Lernphasen in denen selbstreguliertes bzw. selbstgesteuertes Lernen stattfinden soll, können, je nachdem welche Lernkompetenzen entwickelt werden sollen, zum Einstieg in ein neues Thema, zum Üben und Wiederholen, aber auch zur Wissenskontrolle eingesetzt werden.

Die Lernumgebung muss für Selbstlernphasen so gestaltet sein, dass selbstgesteuertes Lernen mithilfe der Lernmaterialien möglich wird, das heißt, dass die Lernenden ihren Lernprozess selbst organisieren können und dass den Lernenden inhaltliche und lernstrategische Orientierungshilfen zur Verfügung stehen, um sich das nötige Wissen zum Lösen der Anwendungsaufgaben aneignen zu können (Müller et al., 2008).

Da stellt sich die Frage, welche Medien als lernwirksame Orientierungshilfen in eine problemorientierte Lernumgebung integriert werden können.

Der Einsatz digitaler Medien im Unterricht ist eine Möglichkeit, der in den letzten Jahren durch zahlreiche Studien untersucht wurde. Da die Ergebnisse mit sehr unterschiedlichen Bedingungen zusammenhängen, wurden die Einzeluntersuchungen seit dem Jahr 2000 an der Technischen Universität München zur Metastudie „Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe“ zusammengefasst. Dadurch wird es nun möglich, zuverlässige Aussagen zur Lernwirksamkeit zu treffen. So zeigen Lernende, die mit digitalen Unterrichtsmedien unterrichtet wurden, im direkten Vergleich mit Lernenden die traditionell unterrichtet wurden, durchweg bessere Ergebnisse in den durchgeführten Leistungstests (Hillmayr, 2017).

Aus diesen Erkenntnissen geht die vorliegende Arbeit der zentralen Frage nach, ob eine integrierte Lernumgebung mit digitalen Medien so gestaltet werden kann, dass sie handlungsorientierte Lernprozesse in Selbstlernphasen ermöglicht und die Problemlösefähigkeiten von Lernenden der Sekundarstufe I innerhalb einer zweiwöchigen Intervention fördert. Das Ziel ist die Kompetenzerwartung der Lernenden, also das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten, zu stärken.

Da in einer Lernumgebung eine Vielzahl von Einflussfaktoren sich wechselseitig beeinflussen und aufgrund der rasanten Entwicklung der Informationstechnologien, wird die

zentrale Forschungsfrage mithilfe eines Design-Based-Research-Forschungsdesigns untersucht, um eine zeitnahe Lösung für die Praxis anzubieten, die dann ohne Probleme eingesetzt und angepasst werden kann.

Für diese Arbeit wird eine problemorientierte Lernumgebung mit digitalen Medien mit dem inhaltlichen Schwerpunkt „Wärmelehre“ gestaltet. Das Thema wurde gewählt, weil es für die Lernenden ein anspruchsvolles Thema darstellt, aber auch, weil der Begriff „Wärme“ im Alltag oft mit irreführendem Inhalt belegt ist. So wird „Wärme“ nicht als thermische Energieform erklärt, die zwischen zwei System ausgetauscht wird, sondern mit Temperatur oder innerer Energie verwechselt (Schneider, 2006).

Um einen Konzeptwechsel zwischen den Schülervorstellungen und der physikalischen Sichtweise zu erreichen, muss es zu einem multiplen Konzeptwechsel innerhalb der physikalischen Grundausbildung kommen, indem nicht nur Begriffe und Prinzipien, sondern auch physikalische Denk- und Arbeitsweisen, sowie Vorstellungen über die Physik als Wissenschaft unterrichtet werden. Ebenfalls müssen die Lernenden Vorstellungen von ihrem Lernprozess haben, denn nur so können sie sich nach konstruktivistischer Auffassung, selbstgesteuert mit den bereitgestellten Lernmaterialien auseinandersetzen (Reinders, 2004). Die Wirksamkeit der gestalteten Lernumgebung wird innerhalb einer quasi-experimentellen Feldstudie im Fachwissen-Pre-Post-Design in zwei Schulformen (IGS und Gymnasium) erprobt. Es soll gezeigt werden, dass eine integrierte Lernumgebung mit digitalen Medien für den Physikunterricht so gestaltet werden kann, dass die Qualität des Lernangebots die Lernenden motiviert und sie zum selbstgesteuerten und ausdauernden Lernen anregt. Die Lernenden sollen durch die inhaltliche Unterstützung in die Lage versetzt werden, sich eigenverantwortlich Fachwissen anzueignen und dieses zum Handeln, das heißt zum Problemlösen zu nutzen. Das Ziel ist, durch individualisierte Lernmöglichkeiten, die Kompetenzerwartung der Lernenden zu fördern.

Nach der Auswertung der Daten des 1. Zyklus werden Vorschläge zum Re-Design unterbreitet, um die gestaltete Lernumgebung weiterzuentwickeln.

Gliederung der Arbeit:

Im 1. Kapitel wird das Lernen im Physikunterricht thematisiert, um zu analysieren, wie physikalisches Wissen vermittelt wird und welche Probleme dabei auftreten. Das Ziel ist, Anhaltspunkte zu finden, warum die Lernenden nur begrenzt ihr erworbenes Wissen in neuen Kontexten zum Problemlösen anwenden können.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird in Kapitel 2 der Einsatz digitaler Medien, als eine Möglichkeit zur Förderung der Problemlösefähigkeiten, diskutiert.

Dazu werden ausgehend von den Merkmalen, die Gründe des Lernens mit digitalen Medien untersucht. Ebenfalls werden die individuellen Voraussetzungen der Lernenden beim Lernen

mit digitalen Medien und sechs anerkannte Theorien zum Lernen mit digitalen Medien vorgestellt. Aus den Theorien werden Gestaltungsprinzipien abgeleitet, die in die mediale Gestaltung als Empfehlungen einfließen. In Kapitel 3 werden die Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien in den Physikunterricht zur Förderung der Problemlösefähigkeiten thematisiert und eine Metastudie zur Wirksamkeit des Lernens mit digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht dargeboten.

Ableitend aus den gewonnenen Erkenntnissen wird in Kapitel 4 eine digitale Lernumgebung zum Thema „Wärmelehre“ gestaltet. Basis für die inhaltliche Gestaltung der Lernumgebung bildet der Lehrplan Physik für weiterführende Schulen der Klassenstufe 7 bis 9/10 in Rheinland-Pfalz. Die mediale Gestaltung erfolgt aus lerntheoretischer Sicht nach dem konstruktivistischen Ansatz und unter Berücksichtigung mediendidaktischer und mediengestalterischer Erfordernisse.

In Kapitel 5 wird die quasi-experimentelle Feldstudie innerhalb des Design-Based-Research Forschungsansatz (Prediger, S. & Link, M. 2012) vorgestellt. Grundlage der Studie ist die gestaltete Lernumgebung „Wärmelehre“. Ableitend von den theoretischen Erkenntnissen wird die zentrale Fragestellung dieser Arbeit durch sechs Forschungsfragen präzisiert. Dann werden die Anlage des Untersuchungsdesigns und die Erhebungsinstrumente beschrieben. Die Implementierung der gestalteten Lernumgebung erfolgt innerhalb einer Quasi-experimentelle Feldstudie, die an zwei Schulen mit Lernenden jeweils zweier zehnter Klassen im Physikunterricht durchgeführt wird. Die beiden Untersuchungen werden im Fachwissen-Pre-Post-Design durchgeführt. Dabei werden die zu vergleichenden Medientypen (digital/analog) in zwei Interventionsgruppen (Experimental- und Kontrollgruppe) untersucht.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse beider Untersuchungen der Studie zusammenfassend dargestellt. In Kapitel 7 werden die Ergebnisse im Hinblick auf die Forschungsfragen diskutiert, um die zentrale Fragestellung dieser Arbeit zu beantworten.

Aus den Ergebnissen werden Vorschläge zur Entwicklung des Re-Designs abgeleitet. In Kapitel 8 wird das Re-Design vorgestellt. Es bildet die Grundlage für die Untersuchungen des 2. Zyklus des DBR. Im letzten Kapitel 9 wird, aufgrund der theoretischen Erkenntnisse und den Ergebnissen aus der Quasi-experimentelle Feldstudie dieser Arbeit, eine vorläufige Checkliste mit Aspekten dargestellt, die bei der Einbindung einer integrierten Lernumgebung mit digitalen Medien in den Physikunterricht zukünftig berücksichtigt und in weiteren Zyklen untersucht werden sollten, um die Problemlösefähigkeiten der Lernenden individuell zu fördern.

1 Lernen im Physikunterricht der Sekundarstufe I

2004 wurden von der Kultusministerkonferenz aufgrund der PISA-Studien, in denen die deutschen Schüler im Vergleich nur mittelmäßige Leistungen erreichten, Bildungsstandards für die drei naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik formuliert. Diese definieren naturwissenschaftliche Kompetenzen, die zum mittleren Schulabschluss erreicht werden sollen. Dabei werden unter Kompetenzen, erlernbare kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden, um bestimmte Probleme zu lösen. Damit verbunden sind motivationale, volitionale und soziale Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen nutzen zu können (Weinert, 2001). Die Konzeption der Bildungsstandards ist darauf ausgelegt, dass diese Kompetenzen in langfristigen Lernprozessen erworben werden. Die erreichten Leistungen der Lernenden werden durch regelmäßige, standardisierte Messungen in allen Bundesländern zum Vergleich erfasst. Gemessen werden die erworbenen Kompetenzen mithilfe von empirisch überprüfbaren Kompetenzstufenmodellen. Festgelegt in den Bildungsstandards sind für alle drei Naturwissenschaften vier einheitliche Kompetenzbereiche. Der erste Kompetenzbereich umfasst das Fachwissen und bildet die Grundlage für den systematischen Wissensaufbau, der zweite Kompetenzbereich ist die Erkenntnisgewinnung und beinhaltet naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen. Der dritte Kompetenzbereich ist die Kommunikation und definiert die Fähigkeiten zum Informationsaustausch. Zu diesem Bereich gehört der sachgemäße Umgang mit Repräsentationsformen. Der vierte Kompetenzbereich ist die Bewertung und umfasst die Reflexion der Beziehungen zwischen Naturwissenschaft, Technik und Individuum und steht für ein verantwortungsbewusstes Verhalten des Menschen gegenüber sich selbst, anderen Personen und der Umwelt. Für jeden Kompetenzbereich werden drei Anforderungsniveaus unterschieden. Im ersten Anforderungsniveau können die Lernenden Sachverhalte reproduzieren, im zweiten können sie Sachverhalte in neuem Zusammenhang anwenden und im dritten können neue Sachverhalte eigenständig erarbeitet und Probleme gelöst werden. Welche Kompetenzen im Unterricht ausgebildet werden sollen, wird durch Lernziele und Stoffverteilung des Lehrplans formuliert. Er bildet das Gesamtkonzept und beschreibt nicht nur die angestrebten Lernergebnisse und Themen, sondern auch Lernprozesse auf der Grundlage didaktischer Prinzipien (Nerdel, 2017).

Um basierend auf diesen Bildungsstandards, Anhaltspunkte zu finden, wie die Problemlösefähigkeiten (Anforderungsbereich III für die Kompetenzbereiche der Bildungsstandards) verbessert werden können, muss untersucht werden, wie der Physikunterricht in der Praxis durchgeführt wird (Girwidz, 2006).

Bedeutende Erkenntnisse lieferte die Videostudie des IPN zum Physikunterricht in den Schuljahren 7-9, die nachfolgend zusammengefasst werden. Es wurde beobachtet, dass zu Beginn einer Unterrichtsstunde, zur Einstimmung in ein Thema, das Vorwissen der

Lernenden erfragt wird. Aber im folgenden Unterrichtsgespräch wird nur oberflächlich daran angeknüpft und die Interessen der Lernenden werden so gut wie nie erhoben (Prenzel, 2002). Der Unterricht findet lehrerorientiert durch eng geführte Gespräche statt. Ungefähr zwei Drittel des Unterrichts werden durch Experimente bestimmt. So haben die Lernenden wenig Gelegenheit für eine aktive und eigenverantwortliche Auseinandersetzung mit den Lerninhalten. Erstaunlich ist, dass den Lernenden nur wenige Minuten pro Unterrichtsstunde zum Üben und Vertiefen des vermittelten Stoffs zur Verfügung stehen. Die Auswertung der Interviews zeigte, dass die Lehrerinnen und Lehrer „konstruktivistische Aspekte“ im Unterricht nur begrenzt berücksichtigen. Für sie steht die Vermittlung des physikalischen Inhalts, worunter Begriffe und Prinzipien verstanden werden, im Vordergrund. Die Lehrerinnen und Lehrer sind nicht gut vertraut mit der Bedeutung von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen und ebenso verfügen die meisten Lehrkräfte nicht über eine explizite Vorstellung zum Lernen ihrer Lernenden und zur Bedeutung der Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Unterricht (Girwidz, 2006). Diese Erkenntnisse der Studie beschreiben nicht allein den „Istzustand“, ermöglichen aber folgende Hinweise zur Verbesserung des Unterrichts aufzuzeigen:

1. Veränderung der Vorstellungen der Lehrkräfte, wie unterrichtet werden sollte (konstruktivistischer Ansatz).
2. Berücksichtigung der Schülervorstellungen, denn sie bestimmen, wie das Präsenzierte aufgenommen wird.
3. Berücksichtigung von psychologischen Variablen (Motivation, Interesse und Selbstkonzept, Lernstil), die Einfluss auf das Lernen im Physikunterricht haben.
4. Einfluss digitaler Medien zur Förderung von Problemlösefähigkeiten in Selbstlernphasen.

Nach dem konstruktivistischen Ansatz müssen Lernumgebungen so gestaltet werden, dass das Konstruieren von Wissen möglich wird, was bedeutet, dass Wissen immer durch Verarbeitungsprozesse erlernt wird, die von bereits erworbenem Wissen ausgehen. Dieses erfolgt aufgrund externer Reize in drei Verarbeitungsebenen (Sensorischer Speicher, Kurzzeitgedächtnis, Langzeitgedächtnis) unseres Gehirns durch vielseitige Wechselwirkungen. Die im Langzeitgedächtnis aktivierten Strukturen werden in der kognitiven Psychologie „Begriffe“ genannt. Wichtig ist, dass es zwischen den Begriffen lernabhängige Verbindungen gibt. Das bedeutet, dass auf diese Weise mit ihm verbundene Begriffe ebenfalls aktiviert werden, ohne dass ein externer Reiz erforderlich ist. Diese „Begriffe“ sind durch Merkmale charakterisiert, die durch häufig erlebte Beziehungen zwischen den Begriffen innerhalb partieller Netzwerke entstehen.

Es wird also nicht die Beziehung zwischen zwei Begriffen hergestellt, sondern zwischen den

partiellen Netzwerken (Girwidz, 2006).

Diese Erkenntnisse bedeuten für den Physikunterricht, physikalische Begriffe und physikalische Theorien gleichzeitig zu lehren, da man davon ausgehen kann, dass die Begriffe und die Erfahrungswelt der Lernenden korrespondieren.

Da stellt sich die Frage, wie können die Schülervorstellungen mit den im Unterricht aufgebauten partiellen Netzen verbunden werden?

Eine Möglichkeit ist das problemorientierte Lernen in einer digitalen Lernumgebung, bei der das eigenständige Handeln organisiert wird. Hier findet ein ständiger Wechsel zwischen den Phasen der Informationsvermittlung und denen der aktiven, subjektiven Verarbeitung durch das Lösen von Anwendungsaufgaben statt (Wahl, 2013). Gerade weil Lernen ein individueller Prozess ist, sind Phasen notwendig, in denen sich die Lernenden im eigenen Lerntempo mit dem vermittelten Stoff auseinandersetzen können (Wahl, 2013). Da digitale Medien im Alltag der Lernenden akzeptiert sind, könnte ihr Einsatz nicht nur das aktive Lernen unterstützen, sondern auch die geringe Motivation der Lernenden im Physikunterricht verbessern (Girwidz, 2006). Um eine problemorientierte Lernumgebung „Wärmelehre“ für den Physikunterricht gestalten zu können, muss untersucht werden, ob digitale Medien die Lernprozesse in den geforderten Punkten unterstützen können.

2 Lernen mit digitalen Medien

Ausgehend von der Begriffsbestimmung „Lernmedien“ werden in diesem Kapitel zunächst die Merkmale digitaler Medien vorgestellt. Dann werden, um die technischen Möglichkeiten digitaler Medien für die Gestaltung einer problemorientierten Lernumgebung nutzen zu können, die kognitiven Grundlagen des Lernens und die daraus abgeleiteten Lerntheorien zum digitalen Lernen thematisiert. Die Theorien bilden die Basis, um Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsempfehlungen, für die zu entwickelnde Lernumgebung abzuleiten. Da die Gestaltungsempfehlungen nur wirksam werden, unter Berücksichtigung der psychologischen Voraussetzungen der Lernenden beim Lernen mit digitalen Medien, werden diese thematisiert. Im Ergebnis der Analyse werden relevante Aspekte zur Erforschung der Wirksamkeit einer problemorientierten Lernumgebung mit digitalen Medien ermittelt. Abschließend wird auf das selbstgesteuerte Lernen als Voraussetzung beim Lernen mit digitalen Medien und als Methode zur Förderung der Problemlösefähigkeiten in der Lernumgebung eingegangen.

2.1 Begriffsbestimmung: Lernmedien

Medien werden definiert als „einerseits kognitive und andererseits kommunikative Werkzeuge zur Verarbeitung, Speicherung und Übermittlung von zeichenhaften Informationen“ (Petko, 2014). Durch Medien, deren Inhalt didaktisch aufgearbeitet wurde, können sich Menschen neues Wissen aneignen oder es anderen vermitteln.

Während der Wissensvermittlung erfüllen Medien, als Lernmedien, eine Repräsentations-, eine Kommunikations- und eine den Lehr-Lernprozess steuernde Funktion (Peterßen, 2000).

So geht Peterßen davon aus, dass Lernen immer auf der Auseinandersetzung mit der Umwelt beruht. Diese Umwelt wird im Unterricht so durch ein Lernmedium repräsentiert, dass die Lernenden sich mit ihr auseinandersetzen können, um Wissen zu erwerben.

Das kann durch modellhafte, durch abbildhafte oder durch symbolische Repräsentationsformen erfolgen (Tulodziecki, 2010).

Für eine Vorstellungsbildung ist es wünschenswert, dass die Lernenden, Vorstellungen über die Wirklichkeit, aus der Beobachtung oder dem konkreten Handeln in der Wirklichkeit erwerben, denn wenn ausschließlich mit Repräsentationen gelernt wird, können sich irreführende Vorstellungen über die Wirklichkeit ausbilden. Zu berücksichtigen ist aber, dass es aus räumlichen, ethischen, gesundheitlichen oder zeitlichen Gründen oft nicht möglich ist, sich inhaltliche Vorstellungen in Wirklichkeitsbereichen anzueignen. Auch ist es, wegen der besseren Überschaubarkeit und Sichtbarmachung von Strukturen und Prozessen, gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht von Vorteil, sich einen Wirklichkeitsbereich über modellhafte, abbildhafte und symbolische Darstellungen zu erschließen (Tulodziecki, 2010). Ebenfalls haben die Lernmedien eine Kommunikationsfunktion, in dem sie über bestimmte

thematische Inhalte eine didaktische Kommunikation steuern und zum anderen eine Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden oder zwischen Lernenden ermöglichen. Das Denken geschieht mit Kommunikationsmedien nicht mehr nur im Kopf eines Lernenden, sondern es dehnt sich in einen sozialen Kontext aus. Es entstehen Wechselwirkungen zwischen individueller und kollektiver Informationsverarbeitung (Petko, 2014). Zuletzt haben Lernmedien eine Steuerungsfunktion hinsichtlich der Lehr- und Lernprozesse. Diese Funktion zeigt sich in der Art und Weise, wie Lerninhalte z.B. textlich oder bildlich repräsentiert werden. Die Entscheidung für eine bestimmte Repräsentation hat neben der didaktischen Struktur (Anordnung des Lernangebots) und der Anzahl der Handlungsmöglichkeiten, Einfluss darauf, wie sich Lernende mit dem Lerninhalt auseinandersetzen können (Krapp, 2006). Auf Grund der Fülle von Informationen reichen „traditionelle“ Lernmedien in vielen Bereichen nicht mehr aus (Zumbach, 2009). Wenn man die Funktionen von Lernmedien betrachtet, zeigt sich, dass digitale Lernmedien ein breites Spektrum von Lernmöglichkeiten bieten (Six, 2007). Aus diesem Grund wird der Frage nachgegangen, welches sind die neuen Merkmale digitaler Medien und wie können sie für Lehr-Lernprozesse genutzt werden?

2.2 Merkmale digitaler Medien

Unter dem Begriff „digitale Medien“ bzw. neue Medien wird zum einen der Hardware Aspekt, als Kombination verschiedener Geräte verstanden und zum anderen der Aspekt der vielfältigen Kombination von Codes und Modalitäten zur Präsentation von Informationen durch eine Kombination von Geräten. Innerhalb dieser Vielfalt von Medien werden drei Aspekte unterschieden. Zum einen der Darstellungsaspekt (Codierung) von Medien durch Repräsentationen, dann die Rezeption von Medien mit unterschiedlichen Sinnesmodalitäten und zum anderen die technische Umsetzung zur Vermittlung der vielfältigen Informationen. Die folgenden Merkmale haben digitale Medien im Vergleich zu traditionellen Medien.

1. Sie können die Informationsflut auf einfache Weise speichern, verbreiten und verarbeiten (Petko, 2014).
2. Sie ermöglichen dynamische Navigationsmöglichkeiten, das heißt, die Informationen lassen sich vielfältig ordnen und durchsuchen, wodurch sich das Auffinden von Inhalten vereinfacht (Petko, 2014).
3. Sie können interaktiv sein, das heißt, dem Nutzer stehen Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung (Six, 2007).
4. Sie können adaptiv sein, das heißt, Programme können ihren Schwierigkeitsgrad, auf der Basis der Eingaben der Nutzer, anpassen. Sie können Sprache interpretieren und sogar Antworten geben (Petko, 2014). Sie können aber auch adaptierbar sein, wenn der Lernende das System anpassen kann. Diese Eigenschaft ist für das

selbstgesteuerte Lernen sehr wichtig, weil so eine individuelle Anpassung an die Bedürfnisse eines jeden Lernenden möglich ist (Schelle, 2009).

5. Durch die Multicodierung können Informationen in unterschiedlich codierten Formen (Symbolsysteme) und Abstraktionsebenen z.B. durch Fotos oder Symbole dargestellt werden. Grundlegende Symbolsysteme sind das verbale, das bildliche und das Zahlensystem (Six, 2007).
6. Die Multimodalität ermöglicht die parallele Nutzung unterschiedlicher Sinneskanäle zur Übermittlung von Informationen (Six, 2007).
7. Durch Hypertextstrukturen sind Informationen netzartig verbunden. Sie sind für das selbstgesteuerte Lernen bedeutsam, denn sie ermöglichen individuelle Lernwege und eine individuelle Beschaffung von Informationen. Hierbei sind aber die Navigationskenntnisse zu beachten, um die Lernenden nicht zu überfordern (Schelle, 2009).
8. Eine weitere Eigenschaft ist die Medienkonvergenz. So sind Handys heute mobile Kleincomputer und können vielfältig, also auch zur Lernunterstützung genutzt werden (Petko, 2014).
9. Durch asynchrone und synchrone Kommunikationssoftware können die Nutzer textbasiert oder multimedial miteinander unabhängig von Ort und Zeit kommunizieren (Petko, 2014).

Zusammenfassend sind folgende Merkmale digitaler Medien zur Gestaltung von Lernmedien zu berücksichtigen:

1. Das Symbolsystem, mit dem die Botschaft kodiert wurde, denn es hat Einfluss darauf, welche Aktivitäten beim Lernenden angeregt werden.
2. Die Anordnung der Lerninhalte, also die didaktische Struktur, denn sie bestimmt, inwieweit die Lernenden selbstgesteuert ihren Lernweg wählen können.
3. Die Handlungsmöglichkeiten (Interaktivität), denn sie bestimmen, was die Lernenden tun können, also, ob sie in den Ablauf eingreifen können oder ob das Lernangebot keine Einflussnahme zulässt (Krapp, 2006).

Um die Merkmale digitaler Medien für die Gestaltung einer Lernumgebung berücksichtigen zu können, muss zuerst analysiert werden, was unter „lernen“ nach den lerntheoretischen Ansätzen verstanden wird. Aus diesen Erkenntnissen des Zusammenwirkens von inneren Medien des Denkens mit äußeren, digitalen Medien, können Gestaltungsprinzipien für Lernmedien abgeleitet werden (Petko, 2014).

2.3 Gestaltungsprinzipien nach lerntheoretischen Ansätzen

Lernen bedeutet den Erwerb von Fähigkeiten und Fertigkeiten, der absichtlich (expliziertes Lernen) oder beiläufig (implizites Lernen) geschieht (Mandl, 2001).

Drei lerntheoretische Ansätze, die die mediendidaktische Forschung am meisten beeinflusst haben, sind der behavioristische, der kognitivistische und der konstruktivistische Ansatz (Issing & Klimsa, 1997; Kerres, 1998; Schulmeister, 1997).

Die drei Ansätze unterscheiden sich in ihren Vorstellungen zur Rolle der Lehrenden und Lernenden und den damit verbundenen Vorstellungen, wie Wissen vermittelt werden sollte. Behavioristische Ansätze verstehen Lernen als beobachtbare Verhaltensänderung, die als Reaktion auf einen Reiz geschieht.

Umgesetzt wurde dieser Ansatz mithilfe digitaler Medien, durch das Modell der programmierten Unterweisung, das Grundlage der ersten Computer Based Trainings (CBT) ist (Skinner, 1968). Bei der Gestaltung sind folgende Grundprinzipien zu berücksichtigen:

1. die Zergliederung der Lerninhalte in viele einzelne Lernschritte
2. die regelmäßige Rückmeldung zum Lernfortschritt
3. die Führung der Lernenden durch das Lernprogramm.

Angewandt wurden diese Lernprogramme in „Drill & Practice“ Programmen, in denen das Üben der vorgegeben Lerninhalte im Mittelpunkt steht.

Kognitivistische Ansätze vertreten die Auffassung, dass Lernen ein kognitiver Prozess der Informationsverarbeitung ist. Dementsprechend werden innerhalb dieser Theorie, die Phänomene Wahrnehmung, Gedächtnis, Denken und Problemlösestrategien untersucht. Gestaltungsprinzipien nach diesem Ansatz sind:

1. Wahlmöglichkeiten bezüglich der Lernschritte und deren Reihenfolge
2. Prinzip der realitätsnahen Darstellung, um die Informationen leichter in bestehende Wissensstrukturen einzuordnen
3. Prinzip der gestuften Hilfen, je nach aktuellem Lernstand. Umgesetzt werden die Prinzipien innerhalb tutorieller Programme, durch die geordnete Darstellung von Lerninhalten, die in einem Zusammenhang stehen.

Kritikpunkte an beiden genannten Ansätzen sind die fehlenden Aussagen zu komplexen, nicht beobachtbaren Vorgängen des Lernens, die fehlende Berücksichtigung von motivationalen und sozialen Prozessen und das Festhalten an der Vorstellung, dass Lernen von außen lenk- und steuerbar ist (Schulz-Zander, R. & Tulodziecki, G., 2002):

Der konstruktivistische Ansatz hingegen versteht Lernen als einen aktiven Konstruktionsprozess der Lernenden auf Grundlage eigener Handlungen und Erfahrungen.

Dieser Ansatz entwickelte sich aufgrund der Feststellung, dass die Lernenden ihr Wissen nicht auf die Lösung eines Problems übertragen konnten.

Dieser Ansatz führt zu einer veränderten Sichtweise auf die Gestaltung von digitalen Lernmedien, denn in diesen geht es nicht um die Vermittlung bestimmter Lerninhalte, für dessen Erreichen bestimmter Lernziele und Lernmethoden von Lehrenden festgelegt werden müssen, sondern die Lernenden setzen sich selbstgesteuert mit einem Thema bzw. handelnd mit ihrer Umwelt auseinander. Damit ändert sich die Rolle der Lehrenden vom Steuernden zum Beratenden.

Gestaltungsprinzipien sind:

1. Schaffung einer authentischen Lernumgebung, in der komplexe Probleme gelöst werden können
2. Möglichkeit der Eigentätigkeit, um Konstruktionsprozesse zu initiieren
3. vielfältige Steuerungsmöglichkeiten
4. Lerngegenstand, der in verschiedenen Perspektiven präsentiert wird
5. der soziale Kontext, in dem die Lernumgebung, die Möglichkeit der Kommunikation unterstützt
6. die Reflexion eigener Planungen von Problemlösestrategien als Lernressource zu fördern

Obwohl dieser Ansatz die mediendidaktische Diskussion stark dominiert, liegen wenig konkrete Konzepte zum Lernen nach diesem Ansatz vor (Arnold, 2005).

Die zu gestaltende Lernumgebung dieser Arbeit basiert auf dem konstruktivistischen Ansatz. Bei diesem Ansatz wird Lernen als aktiver, selbstgesteuerter, konstruktiver, situativer und sozialer Prozess verstanden. Ziel ist, die Handlungskompetenz der Lernenden zu fördern, um sie in die Lage zu versetzen, ihr erlerntes Wissen auch in realen Situationen anwenden zu können (Krapp, 2006). Zur Unterstützung der Lernenden in Selbstlernphasen werden den Lernenden, Lernmodule als Werkzeuge zur Lösung der Problemaufgaben zur Verfügung gestellt. Um lernwirksame Lernmedien gestalten zu können, ist es notwendig zu klären, wie die Verarbeitung von Informationen beim Lernen mit digitalen Medien funktioniert. Um die Frage zu beantworten, werden nachfolgend fünf anerkannte Theorien zum Lernen mit digitalen Medien exemplarisch vorgestellt.

2.4 Lernpsychologische Theorien zum Lernen mit digitalen Medien

Menschen lernen mit und über Medien, indem sie Texte lesen, Radio hören, Fernsehen sehen oder mit dem Computer arbeiten und das nicht nur in Bildungseinrichtungen, sondern in allen Lebensbereichen, ein Leben lang (Kerres, 2018). Aus psychologischer Perspektive wird Lernen als Aufbau bzw. Umbau von kognitiven Strukturen verstanden (Petko, 2014).

Aus diesem Grund ist es für eine lerngerechte Gestaltung von Lernmedien wichtig, sich mit den Prozessen der Informationsaufnahme und Verarbeitung zu beschäftigen, um eine ungünstige kognitive Belastung der Lernenden zu vermeiden (Zumbach, 2010).

Unser Gedächtnis besteht aus drei Bereichen, in denen Informationen aufgenommen, verarbeitet und gespeichert werden. Wenn die Informationen durch die Sinne im sensorischen Register angekommen sind, spielen Prozesse der Aufmerksamkeit die Voraussetzung, dass die Informationen ins Arbeitsgedächtnis überführt werden. Sind sie dort angekommen, beginnen die eigentlichen Prozesse der Informationsverarbeitung. Diese Verarbeitung ist die Voraussetzung, dass die Informationen im Langzeitgedächtnis dauerhaft gespeichert werden können (Zumbach, 2010).

Diese Prozesse der Informationsaufnahme und Verarbeitung werden in der „Cognitive Load Theorie“ von Sweller (1991), der „kognitiven Theorie multimedialen Lernens“ von Mayer (2014) und im „integrativen Modell des Text- und Bildverständnisses“ nach Schnotz (2005) thematisiert, denn für einen wirksamen Einsatz digitaler Medien ist es notwendig, die optimale Auslastung des Arbeitsgedächtnisses zu berücksichtigen. Als vierte Theorie wird das „Integrative Modell multimedialer Effekte beim Lernen“ von Hede (2002) vorgestellt, weil es neben den kognitiven auch die motivationalen Aspekte der Lernenden beim Lernen mit digitalen Medien und die Lerneigenschaften (Lernstile) thematisiert (Rey, 2009).

Als fünfte Theorie wird die Kognitive Flexibilitätstheorie von Spiro (1995) thematisiert, die sich mit dem Einfluss von Vereinfachungen komplexer Informationen auf die Lernleistung beschäftigt (Rey, 2009).

2.4.1 Cognitive Load Theorie von Sweller

Die Cognitive Load Theory (CLT) von Sweller (1988, 2005 a) und seinen Mitarbeitern beschäftigt sich mit der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnis.

Diese Theorie geht von einer zentralen kognitiven Struktur aus, die aus Arbeits- und Langzeitgedächtnis besteht, wobei das Speichervermögen des Langzeitgedächtnisses als sehr groß angesehen wird. Im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis, sind die im Arbeitsgedächtnis befindlichen Informationen den Menschen bewusst. Auf zwei Wegen können Informationen in das Arbeitsgedächtnis gelangen, entweder aus dem Langzeitgedächtnis als Vorwissen oder bei neuen Informationen aus dem sensorischen Speicher. Wichtig ist, dass neue Informationen nur bewusst im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden, bevor sie ins Langzeitgedächtnis gelangen können, wenn es sich um sekundäres biologisches Wissen handelt. Primär biologisches Wissen wird nicht bewusst gelernt, wie z.B. der Erwerb der Muttersprache, sekundäres biologisches Wissen hingegen ist Wissen, was bewusst erlernt werden muss, wie z.B. das Lösen von mathematischen Gleichungen. Die grundlegende Feststellung dieser Theorie besagt, dass das Arbeitsgedächtnis zwei

zentralen Beschränkungen unterliegt, wenn neue Informationen (sekundär biologisches Wissen) aus dem Sensorischen Speicher verarbeitet werden sollen. Die erste Beschränkung bezieht sich auf die Begrenzung der Verarbeitungsmenge von gleichzeitigen Informationen im Arbeitsgedächtnis. Während Miller (1956) noch von ca. sieben Informationselementen ausging, wurde diese Zahl von Sweller auf zwei bis vier reduziert. Die zweite Beschränkung ist die zeitliche Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses. So wird aufgrund empirischer Untersuchungen vermutet, dass sämtliche Inhalte des Arbeitsspeichers innerhalb von 20 bis 30 Sekunden verloren gehen, wenn sie nicht wiederholt werden.

Für die Gestaltung von Lernmaterialien ist es demnach wichtig, die beiden Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses zu überwinden (Rey, 2009).

Swellers Theorie basiert auf dem Gedächtnismodell von Baddeley (1992).

In diesem Modell werden im Arbeitsgedächtnis vier Instanzen angenommen, die zentrale Executive, das phonologische Subsystem, das visuelle Subsystem und der episodische Puffer. Im phonologischen Subsystem werden akustische Informationen und im visuellen Subsystem visuell-räumliche Informationen (Bilder, Filme) verarbeitet. Der episodische Puffer ist zum einen die Verbindungsstelle zwischen den beiden Subsystemen und zum anderen zur zentralen Executive. Außerdem schafft er eine Verbindung zwischen der zentralen Executive und dem Langzeitgedächtnis (Zumbach, 2010).

Der episodische Puffer ist also relevant zum Lernen und Problemlösen, aber auch, weil er eine multimodale Speicherung aus visuellen und phonologischen Informationen vornimmt (Rey, 2009). Nach der Cognitive Load Theorie ist die Ausbildung und Speicherung von automatisierten Schemata beim Lernen von zentraler Bedeutung. Ein Schema wird als kognitives Konstrukt verstanden, welches die Informationen zur Speicherung im Langzeitgedächtnis organisiert. Um Schemata zu konstruieren, sind zwei kognitive Prozesse bedeutsam.

Zum einen die Elaboration, das heißt, neue Informationen muss der Lerner mit Bedeutung versehen, indem er sie mit seinem Vorwissen verknüpft und so strukturiert. Der zweite kognitive Prozess ist die Induktion, was bedeutet, konkrete Lernerfahrungen in abstrakte Schemata zu überführen, wodurch es dann möglich wird mithilfe der ausgebildeten Schemata, Aufgaben zu lösen, die sich von den Aufgaben der Lernphase unterscheiden. Außerdem erkennt der Lernende, wann er die ausgebildeten Schemata nicht anwenden kann. Nach der Ausbildung von Schemata ist der Prozess der Automatisierung durch intensives Üben, der zentrale Schritt beim Lernen, wobei angenommen wird, dass Informationsverarbeitungsprozesse bewusst oder automatisiert ablaufen können. Während bewusste Verarbeitungsprozesse das Arbeitsgedächtnis belasten, umgehen automatisierte Verarbeitungsprozesse dieses, wodurch kognitive Kapazitäten für andere Funktionen frei werden. Im Ergebnis der Automatisierung wird ein spezifisches Schema ausgebildet, so

dass, wenn eine Aufgabe die Bedingung des Schemas erfüllt, entsprechende Handlungen automatisch ausgelöst werden (Kompilierung). Die in Untersuchungen festgestellten Leistungsunterschiede zwischen Experten und Novizen konnten mit dem Grad der Ausbildung von Schemata und deren Automatisierung erklärt werden (Sweller et al, 1998). So können bei Experten, die durch Übungsprozesse ausgebildeten Schemata weitgehend automatisiert verwendet werden, wodurch kognitive Ressourcen für andere Informationsverarbeitungsprozesse im Arbeitsgedächtnis verfügbar werden. Dagegen sind Schemata, aufgrund fehlender Verarbeitungsprozesse im Langzeitgedächtnis bei Novizen noch nicht ausgebildet oder laufen bewusst ab, was zu höherer kognitiver Belastung führt (Rey, 2009).

Drei Arten kognitiver Belastung des Arbeitsgedächtnisses werden laut der Cognitive Load Theorie unterschieden: Intrinsic, Extraneous und Germane Load.

1. Intrinsic Load beschäftigt sich mit der kognitiven Belastung, die durch das Lernmaterial und die Lernziele entstehen. Der ausschlaggebende Faktor für das Ausmaß an Intrinsic Load ist neben dem Vorwissen, die Elementinteraktivität. Sie ist hoch, wenn die Wechselwirkungen zwischen den Informationen im Lernmaterial stark ausgeprägt sind und die Elemente simultan im Arbeitsgedächtnis bearbeitet werden.
2. Extraneous Load wird durch die Elemente bestimmt, die nicht direkt mit den Lernzielen im Zusammenhang stehen. Sie kann durch ablenkende Bilder und komplizierte Formulierungen ausgelöst werden. So konnte Sweller (2010) lernförderliche Effekte feststellen bei Verringerung von Extraneous Load, aber auch von Intrinsic Load durch die Entfernung ablenkender Elemente oder der räumlich nahen Anordnung zusammenhängender Informationen. Es verringerte sich die Elementinteraktivität, was zu einer geringeren lernirrelevanten Belastung des Arbeitsgedächtnisses führte (Sweller, 2010).
3. Germane Load befasst sich mit den Belastungen, die durch die Ausbildung von Schemata, also die lernbezogene Belastung, aufgewendet werden. Sie ist nicht vom Lernmaterial abhängig, sondern sie wird bestimmt, in welchem Ausmaß der Lernende verbleibende, kognitive Kapazitäten einsetzt für die Schemagestaltung (Sweller, 2010). So kann Germane Load verringert werden, also der Aufwand, um das Lernmaterial zu verstehen, durch Vermeidung von Intrinsic und Extraneous Load durch eine lernförderliche Gestaltung der Lernumgebung.

Fazit

In der Theorie von Sweller (1988, 2005 a) steht die Konstruktion und Automatisierung von Schemata durch ein direktes Vorgehen bei der Wissensvermittlung im Vordergrund. Eine Möglichkeit der Reduzierung der kognitiven Belastung kann durch eine Sequenzierung der

Lerninhalte erreicht werden. Obwohl es auch Kritik an Swellers Theorie gibt, aufgrund des relativ direkten Vorgehens bei der Wissensvermittlung, kann die Cognitive Load Theorie als theoretisch elaboriert bewertet werden (Rey, 2009).

2.4.2 Kognitive Theorie multimedialen Lernens von Mayer

Eine weitere Theorie zum multimedialen Lernen ist die Kognitive Theorie multimedialen Lernens von Mayer (1996) und seinen Mitarbeitern. Die Theorie geht von drei Annahmen aus:

1. Die Verarbeitung von Informationen erfolgt mittels zweier Kanäle. Ein Kanal steht für visuell/bildhaft präsentiertes Informationsmaterial und der zweite Kanal für auditiv/verbale Materialien zur Verfügung. Diese Annahmen greifen auf die Theorie von Paivio (1986) und auf die frühere Version des Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1992) zurück.
Untersucht werden innerhalb der Theorie der Präsentationsmodus, also wie die Lernmaterialien präsentiert werden und die Sensorische Modalität, durch die untersucht wird, wie die Lernenden das Lernmaterial aufnehmen.
2. Diese Annahme bezieht sich auf die begrenzte Kapazität an Informationen, die in jedem Kanal des Arbeitsgedächtnisses verarbeitet werden können. Diese Annahme deckt sich mit den Theorien von Sweller (1988, 2005 a) und Baddeley. Mayer verzichtet aber auf eine Annahme, wie viele Informationseinheiten simultan bearbeitet werden können. Als Schlussfolgerung für die Gestaltung einer multimedialen Lernumgebung kann man ableiten, dass die Lernenden nicht durch zu viele Informationseinheiten belastet werden dürfen.
3. Diese Annahme beschäftigt sich mit der aktiven Informationsverarbeitung. Mayer geht davon aus, dass sich Lernende aktiv mit dem Lernmaterial beschäftigen sollten, um eine zusammenhängende mentale Repräsentation ihrer vorhandenen Erfahrungen konstruieren zu können. Dazu ist es notwendig, diverse Strategien aufzubauen, um Wissen zu strukturieren (Verarbeitungsstrukturen, Vergleichsstrukturen, Generalisierungsstrukturen, Aufzählungsstrukturen und Klassifizierungsstrukturen). Wichtig für die Gestaltung von Lernmaterialien ist, die kohärente Struktur des Lernmaterials zur Verständnissteigerung und dass die multimediale Botschaft eine Anleitung zum Aufbau der genannten Wissensstrukturen hat (Rey, 2009).

In der Theorie von Mayer werden drei Gedächtnisspeicher unterschieden, der sensorische Speicher, das Arbeitsgedächtnis und das Langzeitgedächtnis. Die eintreffenden Informationen werden über die Augen (Wörter und Bilder) und Ohren des Lernenden im

sensorischen Speicher aufgenommen. Zu den Bildern gehören auch dynamische Visualisierungen. Das sensorische Speicher erlaubt es für einen sehr kurzen Zeitraum, die erfassten Informationen im visuellen oder auditiven Speicher präsent zu halten. Das Arbeitsgedächtnis hat auch in diesem Modell die zentrale Rolle. Es wird davon ausgegangen, dass die Informationen hier temporär zwischengespeichert und bewusst verarbeitet werden, wobei die Weiterverarbeitung der Informationen mittels kognitiver Organisationsprozesse von Wörtern und Bildern zur Ausbildung von verbalen oder bildhaften Modellen führt. Zwischen den beiden Modellen sind keine Transformationsprozesse mehr vorgesehen. Die Integration des Vorwissens aus dem Langzeitgedächtnis mit den beiden mentalen Modellen läuft auch im Arbeitsgedächtnis ab. Das Ziel ist, dass die Lernenden, Verbindungen zwischen den beiden Modellen und dem Vorwissen herstellen. Dieser Prozess ist, laut Mayer, der Entscheidende beim multimedialen Lernen und kann sowohl im visuellen als auch im verbalen Arbeitsgedächtnis ablaufen. Um durch die erforderliche Koordination zwischen beiden Bereichen nicht überfordert zu werden, können die Lernenden ihr Vorwissen nutzen.

Fazit

In der Theorie von Mayer steht die Annahme im Vordergrund, dass sich die Lernenden aktiv mit dem Lernmaterial beschäftigen sollten, um Zusammenhänge konstruieren zu können. Dazu ist es notwendig, dass das Lernmaterial eine kohärente Struktur mit nicht zu vielen Informationen hat, weil die Lernenden die Informationen selektieren und in ihre Wissensstruktur integrieren müssen (Rey, 2009).

2.4.3 Integratives Modell des Text- und Bildverständnisses von Schnotz

Das Modell nach Schnotz (2005) hat einige Ähnlichkeiten mit der Theorie von Mayer. Unterschiedliche Auffassungen bestehen in der multimedialen Darbietung. Hier unterscheidet Mayer nur zwischen Wörtern und Bildern, Schnotz dagegen zwischen deskriptiven und depiktionalen Repräsentationen.

Zu den deskriptiven Repräsentationen gehören gesprochene oder geschriebene Texte, aber auch mathematische Formeln. Nach der Theorie von Schnotz sind deskriptive Repräsentationen vor allem für die Vermittlung von abstraktem Wissen geeignet, weil diese Darstellungen keine Ähnlichkeiten mit dem Inhalt haben, auf den sie sich beziehen.

Zu den depiktionalen Repräsentationen gehören Fotografien, Bilder und Gemälde, die im Gegensatz zu Texten, Ähnlichkeiten mit dem jeweiligen Inhalt aufweisen.

So ist Schnotz der Auffassung, dass die Unterscheidung von deskriptiven und depiktionalen Repräsentationen auch in Bezug auf die mentalen Repräsentationen angewendet werden kann. Wie in der Theorie von Mayer geht auch Schnotz davon aus, dass der Sensorische

Speicher aus einem auditiven und einem visuellen Kanal besteht. Im Gegensatz zu Mayer geht aber Schnotz von anderen Möglichkeiten der Informationsaufnahme aus. Nach seiner Theorie können auditive Informationen bis zu drei Sekunden im auditiven Register, aber visuelle Informationen nur weniger als eine Sekunde im visuellen Register gespeichert werden. Das bedeutet, dass nur, wenn der Lernende seine Aufmerksamkeit auf das auditive oder visuelle Register richtet, die Informationen in das Arbeitsgedächtnis überführt werden. Das Arbeitsgedächtnis hat nach der Theorie von Schnotz, genau wie nach den Theorien von Sweller (1988, 2005a) und Mayer (1996), eine zentrale Bedeutung. Auch die Annahmen von Schnotz basieren auf einer Variante des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley (1992). Nach der Theorie von Baddeley setzt sich das Arbeitsgedächtnis aus zwei Subsystemen, der phonologischen Schleife und der visuell-räumlichen Notiztafel, zusammen. So ist die visuell-räumliche Notiztafel für die Speicherung visuell-räumlich vermittelter Informationen verantwortlich und kann fünf Einheiten speichern. Die phonologische Schleife kann Informationen ca. zwei Sekunden speichern. Die Weiterverarbeitung geschieht dann im Arbeitsgedächtnis auch mithilfe zweier Subsysteme, den propositionalen Repräsentationen und den mentalen Modellen. Diese beiden Subsysteme können sowohl aus der phonologischen Schleife als auch aus der visuell-räumlichen Notiztafel Informationen erhalten. Propositionale Repräsentationen bekommen Daten aus dem verbalen Kanal, in Form von grundlegenden Informationseinheiten. Mentale Modelle erhalten ihre Daten aus dem bildhaften Kanal. Auch wie für Mayer, ist für Schnotz das Vorwissen im Langzeitgedächtnis von zentraler Bedeutung. Nach seiner Theorie wird das Vorwissen benötigt, um mentale Bild- und Textpräsentationen aufzubauen. Im Unterschied zu den anderen Theorien nimmt Schnotz an, dass Transformationsprozesse im Arbeitsgedächtnis nicht auf der ersten Repräsentationsebene stattfinden, sondern durch die Subsysteme der 2. Ebene.

Fazit

Schnotz geht in seiner Theorie davon aus, dass eine Information, wenn sie auf unterschiedlichen Ebenen verarbeitet wird, zu deskriptiven und depiktionalen Repräsentationen führt (Schnotz, 2005). Schnotz misst wie Mayer (2005 a) dem Vorwissen eine zentrale Bedeutung bei (Rey, 2009).

2.4.4 Integratives Modell multimedialer Effekte beim Lernen von Hede

Im Modell von Hede (2002) ist das Arbeitsgedächtnis, wie in den Modellen von Sweller (1988, 2005 a), Mayer (1996) und Schnotz (2005), bei der kognitiven Verarbeitung von zentraler Bedeutung.

Als Leitfaden für die Bewertung der Lernumgebung dienen vier Faktoren. Der erste Faktor ist der multimediale Input, der einen visuellen und einen auditiven Input beinhaltet.

Der zweite Faktor umfasst die kognitive Verarbeitung. Dieser Faktor umfasst die Aufmerksamkeitsprozesse, die dazu dienen, dass die Lernenden ihre Konzentration auf den visuellen und auditiven Input lenken und diesen Input an das Arbeitsgedächtnis weiterleiten. Bedeutsam ist der dritte Aspekt, den er als Lernerdynamiken bezeichnet und wiederum aus drei Variablen besteht. Für Hede sind motivationale Prozesse die Schlüsselvariable für den Lernerfolg, wobei extrinsisch bedingte Motivation durch Verstärkungsreize zwar zu einer Leistungssteigerung führt, nachhaltige Anstrengungsbereitschaft aber nur durch intrinsische motivationale Faktoren, wie Freude und Spaß an der Tätigkeit, entstehen kann. Diese Art der Motivation kann durch herausfordernde Lerninhalte entstehen, durch die die Lernenden weder unter- noch überfordert werden, sowie die Kreativität geweckt wird (Schaumburg & Issing, 2004). Die zweite Variable der Lernerdynamiken ist das kognitive Engagement. Hede geht davon aus, dass das kognitive Engagement, also die vollständige Kontrolle über den eigenen Lernprozess, mit den motivationalen Prozessen verbunden ist.

Die dritte Variable ist die Berücksichtigung von unterschiedlichen Lernstilen, also der typischen Art und Weise des Lernens und deren Bedeutung für den Lernerfolg.

Der vierte Aspekt umfasst das Wissen und Lernen. Dieser Aspekt besteht wiederum aus vier Variablen, der Intelligenz, der Reflexion, dem Langzeitgedächtnis und dem Lernen.

Die Intelligenz setzt sich nach der Auffassung von Fetherston (1998) aus sieben Intelligenzformen zusammen, je mehr Formen innerhalb einer Lernumgebung angesprochen werden, desto effektiver ist das Lernen in der Lernumgebung.

Die zweite Variable ist der Prozess der Reflexion und bezieht sich auf das selbstgesteuerte Lernen und verlangt, dass sich die Lernenden mit ihrem Wissen und den verwendeten Lernstrategien auseinandersetzen.

Die dritte Variable betrifft das Langzeitgedächtnis, diesem weist Hede (2002) ähnliche Funktionen wie Sweller und Mayer zu. Zusätzlich vertritt Hede die Auffassung, dass das Langzeitgedächtnis auch von der Intelligenz und der Reflexion beeinflusst wird.

Die vierte Variable ist das Lernen. Sie ist die einzige abgängige Variable des Modells und unterscheidet zwischen Verständnis, Behalten und der Möglichkeit, das gelernte Wissen in späteren Kontexten anzuwenden (Rey, 2009).

Fazit

Nach diesem Modell ist es bei der Gestaltung digitaler Lernumgebungen notwendig, neben den kognitiven Prozessen, auch motivationale Aspekte, den Aspekt des „selbstgesteuerten Lernens“ und den Aspekt „Lernstile“ zu berücksichtigen.

2.4.5 Kognitive Flexibilitätstheorie von Spiro

Spiro ging in seiner Kognitiven Flexibilitätstheorie (1995) davon aus, dass unidimensionale Repräsentationen zur Abbildung von komplexen und schlecht strukturierten Wissensgebieten oft zu Fehlinterpretationen führen. Zur Vermeidung dieser Fehlinterpretationen sollten multiple Repräsentationen zur Wissensdarstellung entwickelt werden, um unterschiedliche Aspekte eines Lerninhalts hervorzuheben, aber auch um die Zusammenhänge zu verdeutlichen. Ein zweiter Punkt ist die Übertragung von neu gelerntem Fachwissen auf verschiedene Fallbeispiele, um die Anpassung von gelernten abstrakten Konzepten auf konkrete Einzelfälle zu üben. Desweiteren wird in dieser Theorie kritisiert, dass, wenn komplexe Sachverhalte nicht im Zusammenhang dargeboten werden, es zu einer Dekontextualisierung führt. Aus diesem Grund sollten die Lerninhalte innerhalb eines Netzwerks dargestellt werden, um die Wechselwirkungen sichtbar zu machen.

Spiro weist daraufhin, dass es notwendig ist, komplexe Lerninhalte im Zusammenhang darzustellen, es aber gleichzeitig erforderlich ist, um das Arbeitsgedächtnis der Lernenden nicht zu überlasten, diese mithilfe multipler Repräsentationen zum besseren Verständnis anhand von Beispielen zu verdeutlichen. Auf starre Wissensstrukturen sollte verzichtet werden zugunsten variabler Strukturen.

Als Lernform wird aktives Lernen empfohlen, damit die Lernenden eine Verbindung zwischen den Problemaufgaben und den komplexen Zusammenhängen selbständig aufbauen können. Diesen Prozess können digitale Lernmedien unterstützen, weil die Lernenden je nach ihren Erfordernissen sich mit den jeweiligen Lerninhalten auseinandersetzen, die verschiedenen Repräsentationen nutzen, um ihr mentales Modell zur Lösung der Problemaufgabe aufzubauen.

Fazit

Spiro verweist, im Gegensatz zu den Theorien von Sweller (1988, 2005 a) und Mayer (1996), auf die Wichtigkeit, die Komplexität des zu lernenden Inhalts aufzuzeigen, ohne die Lernenden zu überlasten. So sollten flexible und multiple Wissensrepräsentationen aufgebaut werden, die dann in Problemsituationen abgerufen werden können (Rey, 2009).

Aus den Theorien von Sweller (1988, 2005 a), Mayer (1996) und Schnotz (2005), Spiro (1995) und Hede (2002) können Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsempfehlungen für digitale Lernmedien abgeleitet werden, um die lernrelevanten Belastungen zu minimieren. Die Theorie von Hede bildet die Grundlage einer Zusammenstellung von zu berücksichtigenden Lernvoraussetzungen für Designer von digitalen Lernumgebungen. Aus der Theorie von Spiro können grundlegende Erkenntnisse für die inhaltliche Darstellung des Themas und zur Lernform abgeleitet werden.

2.5 Gestaltungsprinzipien für digitalen Lernmedien

Aus den Theorien zum multimedialen Lernen (Kapitel 2.4) können Gestaltungsprinzipien für digitale Lernumgebungen aufgestellt werden:

1. Das zeitliche Kontiguitätsprinzip empfiehlt zusammengehörige Informationen auf einer ablaufenden Seite zeitlich eng bzw. gleichzeitig zu präsentieren, da nach den Theorien zum digitalen Lernen, die Menschen zwei getrennte Systeme der Informationsverarbeitung für visuelle und auditive Informationen besitzen. Wenn beide Systeme genutzt werden, steigt die Kapazität der Informationsverarbeitung (Petko, 2014).
2. Das Multimediaprinzip empfiehlt die Verwendung von zwei Codierungsarten (Text und Bild), um die Abrufbarkeit in das Arbeitsgedächtnis zu erhöhen. Besonders lernförderlich sind Animationen (Text und dynamische Bilder), weil durch die Erzeugung einer scheinbaren Bewegung das Arbeitsgedächtnis entlastet wird (Mayer, 2001).
3. Das Redundanzprinzip empfiehlt beim Lernen mit Animationen, dass wenn Bild und gesprochener Text kombiniert werden, auf einen geschriebenen Text zu verzichten, weil neue Informationen ausschließlich im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen (Petko, 2014).
4. Das Splitt-Attention-Prinzip (räumliche Kontiguitätsprinzip) empfiehlt, dass zusammengehörige Texte und Bilder auf einer Seite dicht beieinanderstehen, um die kognitive Belastung für das Zusammenführen von getrennten Informationen, so gering wie möglich zu halten (Petko, 2014).
5. Das Modalitätsprinzip empfiehlt Videos und Animationen besser mit gesprochenem als mit geschriebenem Text zu unterlegen. Das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz hat festgestellt, dass sich bei Aufteilung der zu vermittelnden Informationen auf zwei Kanäle, die Behaltensleistung der Lernenden erhöht (Nerdel, 2017).
6. Das Kohärenzprinzip empfiehlt, auf nicht sachdienliche Informationen im Hinblick auf das Lernziel zu verzichten, um die Lernmotivation nicht zu hemmen. Beachten sollte man aber, dass diese „irrelevanten“ Elemente den Wiedererkennungswert erhöhen und somit zur Motivationssteigerung beitragen können (Nerdel, 2017).
7. Das Segmentierungsprinzip bzw. Schrittsteuerungsprinzip empfiehlt, die Lerninhalte in kurze, kompakte Sinneinheiten einzuteilen, die vom Lernenden weiterschaltet werden. Das erlaubt den Lernenden Pausen einzulegen bzw. diese Zeiten für die Verarbeitung der Informationen zu nutzen (Rey, 2009).
8. Das Interaktivitätsprinzip empfiehlt, dass der Lernende die Kontrolle über die Geschwindigkeit der multimedialen Botschaft hat (Rey, 2009).

9. Das Prinzip der Aufmerksamkeitsfokussierung empfiehlt, bestimmte Textbausteine und Details in Illustrationen durch Markierungen hervorzuheben, um die Aufmerksamkeit auf diese Elemente zu lenken (Rey, 2009).
Außer der Berücksichtigung dieser Gestaltungsprinzipien ist es wichtig, die Möglichkeiten jedes einzelnen Mediums für die Integration in die Lernumgebung zu thematisieren.

Für die Senkung der kognitiven Belastung der Lernenden, ist es neben der Berücksichtigung der Gestaltungsprinzipien beim Zusammenwirken von Darstellungsformen notwendig, sich außerdem mit den Gestaltungsempfehlungen für jede einzelne Darstellungsform (Texte, Bilder, Animationen, Simulationen und Problemlöseaufgaben) zu beschäftigen.

2.6 Gestaltungsempfehlungen für Darstellungsformen

Die Gestaltungsempfehlungen für die Darstellungsformen dienen als Orientierung, um die zu vermittelnden Lerninhalte so aufzubereiten, dass es zu einer optimalen Auslastung des Arbeitsgedächtnisses kommt und dass die Lernenden angeregt und in die Lage versetzt werden, eigenständig ihren Lernprozess zu gestalten und motiviert zu lernen. Um die Wirksamkeit der umgesetzten Gestaltungsempfehlungen zu untersuchen, werden relevante Aspekte für die quasi-experimentelle Feldstudie festgelegt.

2.6.1 Gestaltung von Texten

Texte nehmen einen zentralen Platz beim Lehren und Lernen ein, deshalb sollten sie verständlich gestaltet werden. Nach dem Hamburger Verständlichkeitskonzept sind vier Merkmale zu beachten: 1. Einfachheit; 2. Gliederung; 3. Kürze/Prägnanz und 4. Anregende Zusätze (Rey, 2009).

Das erste Merkmal „Einfachheit“ empfiehlt, Texte so einfach wie möglich zu verfassen. Das bedeutet, geläufige Worte zu einfachen Sätzen zusammenzufügen, um das Verständnis zu verbessern. Der zweite Aspekt ist die Gliederung, dieser Aspekt umfasst die äußere und die innere Gliederung. So sollten Zusammenhänge durch Überschriften gekennzeichnet und Wesentliches durch Hervorheben markiert werden. Für eine innere Ordnung ist darauf zu achten, dass die Sätze folgerichtig aufeinander bezogen sind, dass ein roter Faden im Text zu erkennen ist (Schnotz, 2009). Ebenfalls sollten unpersönliche Formulierungen, durch Ausdrücke ersetzt werden, durch die sich der Lernende angesprochen fühlt (z. B. „du“ statt „man“ benutzen) und es ist darauf zu achten, dass der Text direkte Kommentare für den Lernenden bereitstellt, wie z.B. „Vergleiche nun diese Darstellung mit der tabellarischen Darstellung“ (Rey, 2009). So führen umgangssprachliche Formulierungen beim Lernenden dazu, den Computer als sozialen Partner anzuerkennen, wodurch die aktive kognitive

Verarbeitung des Lernenden steigt (Mayer, 2003). Das dritte Merkmal ist die Kürze. Hier ist darauf zu achten, im Text auf Wiederholungen zu verzichten, umständliche Ausdrucksweisen zu vermeiden und sich auf das Wesentliche zu konzentrieren, denn mehrfach benutzte Informationen führen zu Überschneidungen und behindern so den Wissenserwerb (Rey, 2009). Der vierte Aspekt ist die Nutzung von anregenden Zusätzen durch lebensnahe Beispiele, direkte Ansprache der Lernenden und witzige Kommentare, denn sie fördern das Interesse sich mit einem Text auseinanderzusetzen (Schnotz, 2009).

Mithilfe digitaler Medien können Texte nicht nur linear, sondern auch nonlinear durch Hypertexte strukturiert werden. Das besondere Merkmal von Hypertexten sind die netzwerkartigen Verlinkungen zu anderen Texten. Der Vorteil ist, dass die Lernenden die Möglichkeit haben, ihren eigenen Lernweg zu gehen. Dazu ist es aber notwendig, dass die Lernenden beim Lesen stärker aktiv werden, um aus den verschiedenen Informationen, die benötigten Informationen herauszufiltern. Nach der Cognitive Flexibility Theorie führt ein wiederholtes Durcharbeiten von netzwerkartig aufgebauten Informationen zu einem besseren Verständnis und zu einer höheren kognitiven Beweglichkeit der Lernenden (Spiro & Jehng, 1990). Bei der Gestaltung ist, in Abhängigkeit von der Lerngruppe, auf eine hierarchische Navigation mit einer überschaubaren Zahl von Navigationspunkten und Hierarchieebenen zu achten, um die Lernenden nicht zu überfordern (Petko, 2014). Die Lernenden haben im Lernprozess nicht nur die Aufgabe einen Text zu lesen, sondern sie sollen wesentliche Texte finden, bewerten und verarbeiten. Um diese Fähigkeiten zu entwickeln, müssen die Lernmedien benutzerfreundlich gestaltet sein und regelmäßig im Unterricht erprobt werden.

Da sich die Nutzungsgewohnheiten der Lernenden ständig ändern, ist das Erfassen des Aspekts „Benutzerfreundlichkeit (Usability)“ des Lernmediums eine ständige Aufgabe, weil dieser Aspekt eine Voraussetzung ist, um selbstgesteuert zu lernen (Petko, 2014). Die Benutzerfreundlichkeit wird als „Ausmaß, in dem ein Produkt, durch einen Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele, effektiv und mit Zufriedenheit zu erreichen“, definiert (Rey, 2009). Digitale Texte und Hypertexte können aber auch zum Schreiben genutzt werden. Obwohl das Schreiben mit einer Tastatur motorische Fähigkeiten verlangt, ist es von Vorteil, Textelemente nachträglich verändern, hinzufügen oder löschen zu können. Ebenso können Texte gespeichert, wieder geöffnet und überarbeitet werden. Durch die gestalterischen Möglichkeiten, wie z.B. mit Formatierungen und Schriftarten zu arbeiten, Bilder und Tabelle einzufügen, können digitale Texte leichter durchsucht, verbreitet und weiterverarbeitet werden. Eine Metaanalyse von Goldberg, Russell und Cook (2003) kommt zu dem Ergebnis, dass die Lernenden motivierter waren und sich die Qualität der Texte verbesserte, wenn sie Texte mit dem Computer geschrieben haben (Petko, 2009).

Aus diesem Grund wird neben dem Aspekt der „Benutzerfreundlichkeit“ bei der Bewertung von Lernmedien, der Aspekt der „Nützlichkeit“ des digitalen Mediums als Arbeitsmittel in der quasi-experimentellen Studie erfragt, weil unter diesem Aspekt nicht die Benutzung, sondern der Lernprozess, hinsichtlich der zu vermittelnden Lerninhalte im Vordergrund steht (Rey, 2009).

2.6.2 Gestaltung von Bildern

Eine zentrale Rolle spielen Bilder beim Lernen. Sie können kognitive, motivationale und dekorative Funktionen haben. Bilder veranschaulichen Sachverhalte, geben eine komplexe Übersicht und können eine schwer verständliche verbale Beschreibung eines Lerninhalts vereinfachen. Ebenso können Bilder das Interesse am Lernen wecken, was zur Folge hat, dass die Motivation der Lernenden zur kognitiven Verarbeitung des Lerninhalts steigt. Um ein Bild zu verstehen, muss es zunächst wahrgenommen werden. Diese Wahrnehmung geschieht in nicht bewusst kontrollierbaren Prozessen (Neisser, 1976). An diese Prozesse schließen sich kontrollierte Analyseprozesse an, um das Bild zu interpretieren. Hierbei werden realistische Bilder, Analogiebilder und logische Bilder unterschieden. Um das Bild zu verstehen, muss der Lernende eine mentale Repräsentation des dargestellten Lerninhalts entwickeln, und zwar unabhängig davon, ob die vermittelte Information neu ist oder nicht. (Schnotz, 2009). Bei der Gestaltung von realistischen Bildern ist auf eine adäquate Darstellungsperspektive zu achten, denn sie hat die Aufgabe, die wesentlichsten Bestandteile des gezeigten Lerninhalts und deren Beziehungen zueinander, optisch hervorzuheben. Ebenso ist die richtige Detailliertheit von Bedeutung, denn wenn die Strukturen leicht erkennbar sind, ist das für die Lernenden von Vorteil (Schnotz, 2009). Bei der Gestaltung von Analogiebildern gelten die gleichen Regeln wie bei der Gestaltung von realistischen Bildern. Es muss darauf geachtet werden, dass die strukturellen Gemeinsamkeiten zwischen dem gezeigten und dem gemeinten Sachverhalt im Begleittext beschrieben werden (Schnotz, 2009). Bei der Gestaltung von logischen Bildern ist wichtig, dass die vom Lernenden aufgenommene graphische Struktur gut mit der Struktur des darzustellenden Sachverhalts übereinstimmt. Geschieht das nicht, muss der Lernende erst die Reorganisation auf der Wahrnehmungsebene vornehmen, bevor eine entsprechende Interpretation möglich ist. Bei der Integration von Text- und Bildelementen ist auf die zusammenhängende Darstellung zu achten, um den Splitt-Attention-Effekt zu vermeiden, der eintritt, wenn aufeinander bezogene Informationsquellen getrennt voneinander dargestellt werden. Ebenfalls ist das Reihenfolgeprinzip zu berücksichtigen, das besagt, Bilder vor Texten zu präsentieren (Rey, 2009). Um durch die Bilder eine lernförderliche Wirkung zu erzielen, sollten Signalisierungen durch Pfeile und farbliche Hervorhebungen integriert werden (Schnotz, 2009).

2.6.3 Gestaltung von Animationen

Animationen sind dynamische Bildfolgen, bei der jedes Einzelbild als Veränderung des vorangegangenen erscheint. Die für Texte (Kapitel 2.5.1) und Bilder (Kapitel 2.5.2) aufgestellten Gestaltungsempfehlungen können auch für die Gestaltung von Animationen angewendet werden. Zu den spezifischen Gestaltungsempfehlungen gehören zum einen, die zeitgleiche Darbietung der Animation mit dem dazugehörigen gesprochenen Text (zeitliches Kontiguitätsprinzip) und zum anderen die Unterteilung der Animation in lerngerechte Abschnitte (Segmentierungsprinzip). Diese Gestaltungsempfehlungen werden durch das Arbeitsgedächtnis nach der Kognitiven Theorie multimedialen Lernens nach Mayer begründet (Rey, 2009). Animationen können die Lernenden auf Bedeutsames lenken. Besonders schwächeren Lernenden können sie helfen, kognitive Prozesse nachzuvollziehen, zu denen sie sonst, ohne Hilfen, nicht in der Lage wären. Animationen sollten, aufgrund von unterschiedlichen Lernvoraussetzungen, die Möglichkeit bieten, die Präsentation mit verschiedenen Geschwindigkeiten zu betrachten und an beliebigen Stellen unterbrechen zu können. Der Vorteil ist, dass komplexe, nicht sichtbar ablaufende Prozesse, mithilfe von dynamischen Bildfolgen einfacher dargestellt werden können.

Nach dem Schrittsteuerungsprinzip (Mayer, 2005) führt das Unterbrechen einer Animation zu besseren Lernleistungen, als das Präsentieren ohne Unterbrechung, weil bei einer durchgängigen oder zu schnellen Präsentation, die Kapazität der beiden Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses überfordert wird (Rey, 2009).

Bei der Verwendung von Animationen ist also zu berücksichtigen, dass diese interaktiven Lernangebote zusätzliche Anforderungen an die Lernenden stellen, wodurch sich die Ressourcen, die für den Wissenserwerb benötigt werden, reduzieren. Um mit Animationen optimal lernen zu können, muss auf eine lerngruppengerechte Sequenzierung der Lerninhalte geachtet werden. Ebenfalls wichtig ist, dass die Lernenden Fähigkeiten zur Selbststeuerung ihres Lernprozesses ausgebildet haben (Schnotz, 2009).

Aus diesem Grund wird der Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ innerhalb der quasi-experimentellen Studie erfragt, um zu analysieren, in wieweit die Lernenden innerhalb der gestalteten Lernumgebung selbstgesteuert lernen konnten (Höffler, 2007).

2.6.4 Gestaltung von Simulationen

Simulationen sind Computerprogramme, in denen die Lernenden virtuelle Experimente durchführen können. Über Eingabemöglichkeiten können die Lernenden verschiedene Modelle ausprobieren, auf die das Programm dann Ausgabewerte anzeigt.

Untersuchungen zeigen, dass die Lernenden zahlreiche Probleme beim Lernen mit Simulationen haben (de Jong, 2006). So haben die Lernenden Schwierigkeiten bei der Wahl der Eingabevariablen, bei der Formulierung von Hypothesen, bei der Aufstellung einer

Beziehung zwischen den Hypothesen und den experimentellen Daten und beim Ziehen von Schlussfolgerungen aus den mithilfe von Simulationen durchgeführten Experimenten. Ebenfalls zeigten sich in Untersuchungen, dass die Lernenden Schwierigkeiten haben ihre Experimente zu planen und zu überwachen (Manlove, Lazonder & de Jong, 2007). Um dennoch mit Simulationen zu lernen, sollten einige Unterstützungsmaßnahmen in die Lernumgebung integriert werden. Als erstes sollten Übungsaufgaben eingefügt werden, damit die Lernenden beobachten können, wie die Simulation durch Parameterveränderungen eingestellt wird. Desweiteren ist es wichtig, Erläuterungen und Instruktionshinweise an den passenden Stellen der Simulation hinzuzufügen. Bei Lernenden mit geringem Vorwissen ist es notwendig, die Simulation stärker zu strukturieren, um die kognitive Verarbeitung der Lernenden zu erleichtern. Wenn Simulationen im Unterricht eingesetzt werden, sollte zu Beginn darauf geachtet werden, dass in der Simulation nicht alle Parameter zur Verfügung stehen. Ebenso können je nach Lerngruppe adaptive Elemente genutzt werden, um dem Lernenden einen Hinweis zur Benutzung zu geben. Um die Lernenden nicht zu überfordern, empfiehlt Mayer (2004) ein angeleitetes Lernen mit Simulationen. Auf Grund der aufgeführten Probleme sollte eine Simulation nicht in eine konstruktivistische Lernumgebung integriert werden (Rey, 2009). Aus diesem Grund werden Simulationen nicht in die zu gestaltende Lernumgebung integriert.

2.7 Gestaltung von Problemlöseaufgaben

Für die Förderung des Kompetenzerlebens in selbstgesteuerten Lernphasen, werden in die Lernumgebung Problemlöseaufgaben integriert. Unterschieden werden dabei:

1. die Verwendung ausgearbeiteter Lösungsbeispiele
2. die Nutzung von Problemvervollständigungsstrategien
3. die Benutzung zielfreier Problemlöseaufgaben
4. die Verwendung variabler Problemlöseaufgaben.

Die Verwendung von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen ist gut erforscht worden. Diese bestehen aus einer Formulierung der Problemstellung, der Lösungsschritte und der Antwort. Dadurch sollen die Lernenden Schemata zur Lösung von Aufgaben ausbilden. Die Untersuchungen zeigten, dass die lernerrelevante, kognitive Belastung bei dieser Lösungsart gering ausfällt (Sweller et al, 1998).

Werden dagegen konventionelle Problemlöseaufgaben dargeboten, ist die extrinsische kognitive Belastung, aufgrund der erforderlichen Ziel-Mittel-Analyse, sehr hoch.

Das Hauptproblem beim Lernen mit Lösungsbeispielen ist, dass die Lernenden diese nicht sorgfältig lesen. Aus diesem Grund schlugen van Merriënboer & Kramer (1987, 1990) die Nutzung von Problemvervollständigungsstrategien vor. Steigt das Vorwissen der Lernenden an, können die lückenhaften Beispiele durch vollständige Problemaufgaben ersetzt werden.

Ein Effekt beim Einsatz von Vervollständigungsstrategien konnte durch Untersuchungen nachgewiesen werden (Chandler & Sweller, 2001, Renkl & Atkinson, 2003).

Als 3. Möglichkeit wird die Benutzung zielfreier Problemlöseaufgaben diskutiert. Laut Untersuchungen von Sweller (2004) führen zielfreie Problemlöseaufgaben zu besseren Lernleistungen als Aufgaben mit vorgegebenem Ziel (Rey, 2009), weil bei diesen Aufgaben nur der Ausgangszustand der Lernenden beachtet werden muss. So stehen für den Erwerb von Schemata mehr kognitive Ressourcen zur Verfügung (Sweller, et al, 1998).

Ein weiterer Vorteil bei zielfreien Problemaufgaben ist das Verwenden unterschiedlicher Strategien. Dieser Effekt ist empirisch gut belegt und lässt sich erklären, weil die Lernenden bei zielfreien Problemaufgaben eigene Lernstrategien entwickeln und ausprobieren können. Bei Zielvorgaben hingegen müssen die Lernenden Wege suchen, um vom Problem zum Zielzustand zu kommen (z.B. Ayres, 1993, Wirth et al, 2009).

Zu gegensätzlichen Ergebnissen bezüglich der Zielfreiheit, kommen Locke und Latham (1990). Nach ihrer Auffassung erreichen die Lernenden bessere Lernleistungen, wenn Ziele gesetzt werden. Die unterschiedlichen Ergebnisse können damit erklärt werden, dass sich beide Theorien auf unterschiedliche Prozesse beziehen. Die Zielsetzungstheorie untersucht motivationale Faktoren und in der Cognitive Load Theorie werden kognitive Prozesse des Arbeitsgedächtnisses diskutiert (Rey, 2009).

Eine Optimierungsmöglichkeit bietet das Lernen mit variablen Problemlöseaufgaben. Es wird davon ausgegangen, dass durch die größere Variabilität die Wahrscheinlichkeit erhöht wird, ähnliche Merkmale in anderen Problemlöseaufgaben zu entdecken. Nach der Theorie von Spiro (1995) ist das Präsentieren von multiplen Fallbeispielen von Vorteil, um das Übertragen von abstraktem Wissen auf konkrete Einzelfälle zu üben. Dabei ist aber wichtig, dass die unterstützenden Lerninhalte in einer zusammenhängenden Darstellung zur Verfügung gestellt werden, um die Wechselbeziehungen sichtbar zu machen und um ein isoliertes Lernen zu vermeiden (Rey, 2009).

Von den Gestaltungsempfehlungen ableitend, werden in die zu gestaltende integrierte Lernumgebung „Wärmelehre“, Problemaufgaben mit multiplen Fallbeispielen implementiert, wodurch die Lernenden ihre Lernstrategien und ihren Lernweg selbstgesteuert wählen können. Zur Unterstützung der Lernenden wird ein komplexes, visuelles, computergestütztes Lernmodul mit Animationen zum Thema „Wärmelehre“ auf Grundlage des Lehrplans Physik für die weiterführenden Schulen der Klassenstufe 7 bis 9/10 in Rheinland-Pfalz gestaltet, damit es, für ein aktives Lernen nach der konstruktivistischen Auffassung, von der Lehrperson, aber auch von den Lernenden nach ihren individuellen Wünschen und Lernvoraussetzungen angepasst werden kann.

Animationen werden in die Lernumgebung integriert, damit die Lernenden in den Ablauf eingreifen können, das heißt, sie können je nach Bedarf an einem Punkt beginnen, stoppen

und wiederholen, um dynamisch zu denken und ihre Gedanken zu verschriftlichen. Bei der Integration von Text- und Bildelementen wird auf eine zusammenhängende Darstellung geachtet, um den Splitt-Attention-Effekt zu vermeiden. Um die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses zu berücksichtigen, werden die Lerninhalte inhaltlich und lerngerecht sequenziert. Berücksichtigt werden muss, dass die umgesetzten Gestaltungsempfehlungen nur wirksam werden, wenn die individuellen Voraussetzungen der Lernenden beim Lernen mit digitalen Medien beachtet werden (Nerdel, 2017).

2.8 Psychologische Voraussetzungen des Lernens mit digitalen Medien

Wie effektiv ein Lernender mit digitalen Medien lernt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die pädagogisch-psychologische Medienforschung hat schwerpunktmäßig drei Themen erforscht:

1. die psychologische Einstellung des Lernalters zum Medium,
2. die Fähigkeit des Lernalters Symbolsysteme zu entschlüsseln, die das jeweilige Medium verwendet. Diese Fähigkeit wird unter dem Begriff „literacy“ bei Bildern „visual literacy“ erforscht,
3. Herausarbeitung und Verarbeitung der medial vermittelten Botschaft durch den Lerner (Krapp, 2006). Um die Wirksamkeit der Lernumgebung unter dem Mediennutzungsaspekt zu untersuchen, werden relevante Aspekte aus den Themen abgeleitet.

1. Bei Jugendlichen ist der Computer als Spiel- und Kommunikationsgerät sehr beliebt und es ist gegenüber Gleichaltrigen ein Prestigefaktor sich mit der Computertechnik gut auszukennen. So ist nach der Studie von C.C. Kulik & J.A. Kulik (1991) die Einstellung zum Computer als Lernmedium entsprechend positiv. Der in Medienvergleichsstudien aufgefallene Neuheitseffekt tritt heute kaum noch auf, weil Lernenden der Umgang mit diesen Medien vertraut ist. Je nach Einstellung kann ein mediales Angebot als „leicht“ oder „schwer“ empfunden werden, was direkte Auswirkungen auf die Anstrengungsbereitschaft hat. Um einen Abbruch der Lernaktivitäten zu verhindern, ist es von Vorteil, wenn das Lernprogramm eine Aufgabenorientierung vorgibt, was in problemorientierten Lernumgebungen gegeben ist (Krapp, 2006). Die Vertrautheit wird durch den Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ und die Anstrengungsbereitschaft durch den Aspekt „Ausdauer“ untersucht.
2. Wie bereits in Kapitel 2.1 ausgeführt, umfasst der Begriff „Medien“ nicht nur Geräte zur Kommunikation, sondern auch Systeme von Zeichen und Symbolen. Um Symbolsysteme zu entschlüsseln, müssen den Lernenden entsprechende Fähigkeiten und Fertigkeiten vermittelt werden. Hierbei ist es wichtig, die einzelne visuelle

Botschaft auf unterschiedlichen Erfahrungsebenen zu behandeln, weil jedes Medium spezielle Darstellungsformen und strukturelle Eigenschaften aufweist. Diese Botschaft sollte durch einen praktischen gestalterischen Umgang mit jeder einzelnen Medienart erlernt werden (Lobinger, 2012). Lesen von Texten muss erlernt werden. Da stellen sich zwei Fragen, ob das Bild-Lesen ebenfalls erlernt werden muss und ob es unterschiedliche Lerntypen (Verbalisierer und Visualisierer) gibt.

Die Theorie der dualen Kodierung von Paivio (1971) unterstützt zwar diese Annahme, aber aussagekräftige Ergebnisse zur Feststellung von Lerntypen liegen bislang nicht vor (Krapp, 2006). Nach der Theorie von Hede (Kapitel 2.4.4) sollten die individuellen Lernstile bei der Gestaltung von Lernumgebungen berücksichtigt werden. Aus diesem Grund werden in der quasi-experimentellen Feldstudie die Lernstile nach dem empirisch bestätigten Lernstilmmodell von D. Kolb (1984) erfasst, um zu untersuchen, ob lernstilabhängige Unterschiede in den Lernleistungen feststellbar sind. Nach diesem Modell wird ein Lernstil verstanden, als eine typische Art und Weise zu lernen. Lernende, die eine bestimmte Lernform dauerhaft bevorzugen, werden zu vier Lernstiltypen zusammengefasst (Haman, 2012).

3. Wie intensiv ein Lernender eine medial vermittelte Botschaft verarbeitet, hängt von der aktiven Auseinandersetzung mit dem Medium ab. So kann die Aufmerksamkeit durch die Gestaltung des Lernmaterials und durch die didaktische Struktur auf bestimmte Aspekte gerichtet werden. Das Interesse an den Lerninhalten bestimmt, wie stark die medial vermittelten Botschaften verarbeitet werden. So können nach der Interesse-Theorie (Prenzel, 1988, Krapp, 2002) und der Theorie der Selbstbestimmung (Deci & Ryan, 2002) mediale Lernangebote das Interesse der Lernenden anregen, wenn sie Interaktivität ermöglichen, herausfordernde Probleme anbringen, Feedback geben und die Kreativität der Lernenden fördern. Das heißt, die digitalen Lernumgebungen müssen so gestaltet werden, dass sie aktives und selbstgesteuertes Lernen ermöglichen, dass die Lernenden Selbstwirksamkeit, also die Wirksamkeit ihres Handelns erleben, sie so Interesse an den Lerninhalten entwickeln und motiviert eigenverantwortlich lernen wollen (Krapp, 2006). Um den Einfluss des 3. Aspekts zu untersuchen, werden die Lernenden innerhalb der quasi-experimentellen Feldstudie zu ihrer „Lernmotivation“ und ihrer „Selbstwirksamkeit“ befragt.

Da die kognitiven Prozesse beim Lernen mit Medien weitgehend automatisiert ablaufen, müssen die Lernenden über die Fähigkeit der Selbststeuerung verfügen. Aus diesem Grund müssen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Was wird unter selbstgesteuertem Lernen mit digitalen Medien verstanden?
2. Welche Voraussetzungen benötigen die Lernenden?
3. Wie können diese Fähigkeiten gefördert werden?

2.9 Selbstgesteuertes Lernen mit digitalen Medien

Der Begriff „selbstgesteuertes Lernen“ ist kein klar definierter Begriff, weil die Perspektiven, von denen die wissenschaftliche Forschung ausgeht, verschieden sind.

Drei Aspekte beinhaltet der Begriff „selbstgesteuertes Lernen“: Lernen, Steuerung und Selbst. Unter Lernen werden alle Aktivitäten verstanden, um sich Wissen anzueignen, die Steuerung beschreibt einen Prozess, durch den Handlungen angeregt werden und der Begriff des Selbst, betont die Eigeninitiative des Lernenden, in Bezug auf die Ausführung der Handlungen auf ein Lernziel gerichtet (Götz, 2011).

Selbstgesteuertes Lernen versteht sich also als eine Lernform, die den Lernenden erlaubt, nach ihren Lernpräferenzen und ihren Lernstrategien zu lernen und ihr Lernmaterial und ihre Lernziele selbst zu bestimmen (Weinert, 1982).

Um den Prozess des selbstgesteuerten Lernens zu untersuchen, wurden verschiedene Modelle aufgestellt. Nach dem Modell von Pintrich (2003) werden vier verschiedene Handlungsabschnitte unterschieden, 1. der Planung 2. dem Monitoring, 3. der Kontrolle und 4. der Reflexion. In allen Phasen laufen kognitive Prozesse ab, sind motivationale Abläufe beteiligt, spielt das Verhalten der Lernenden eine Rolle und es wirken kontextuelle Einflüsse (Krapp, 2006). Damit die Lernenden mit den Entscheidungsspielräumen auch umgehen können, müssen sie über metakognitive Strategien verfügen, denn das Lernen muss vorbereitet, durchgeführt und reguliert werden, aber ebenso muss die Lernleistung bewertet und die Motivation muss aufrecht gehalten werden (Simons, 1992).

Die Aufgabe der metakognitiven Strategien ist die Überwachung und Regulation der kognitiven Strategien. Diese Strategien sind erforderlich, um die eigenen Lernschritte und individuellen Handlungen effektiv zu gestalten und die Lernfortschritte zu überwachen (Konrad, 2008). Da der Unterricht für das selbstgesteuerte Lernen umorganisiert werden muss, ist der Einsatz digitaler Medien eine Möglichkeit, um individuelle Lernphasen, in denen mit unterschiedlichem Lerntempo und an unterschiedlichen Projekten gearbeitet wird, zu unterstützen. Dazu werden in verschiedensten Formaten Medien genutzt, so z.B. als Arbeitsblätter, Lehrtexte, Anschauungsmittel und vor allem digitale Lernprogramme (Friedrich, 2004). Das selbstgesteuerte Lernen kann durch digitale Medien sehr gut gefördert werden, da Lerninhalte in unterschiedlichen Codes und Modalitäten bereitgestellt werden können. Aber nicht nur die didaktischen Funktionen, der Präsentation der Lerninhalte und die Steuerung des Lernens sind von Vorteil, sondern auch die ökonomischen Vorteile wie die zeitnahe Bereitstellung der Lerninhalte und die Unabhängigkeit von Zeit und Ort.

Die Förderansätze zum selbstgesteuerten Lernen werden in zwei Gruppen eingeteilt.

Die direkten Förderansätze vermitteln in Trainingsmodulen kognitive und motivationale Strategien. In indirekten Förderansätzen hingegen wird die Lernumgebung so gestaltet, dass die Aufgaben nur durch selbstgesteuerte Formen des Lernens zu lösen sind. Ziel ist, die

Lernenden zum selbstgesteuerten Lernen so anzuregen, dass sie sich mithilfe initiiert Handlungen, diese Lernstrategien aneignen (Krapp, 2006). Der Begriff „Lernstrategie“ wird in der pädagogisch-psychologischen Forschung in unterschiedlicher Weise, je nach Zielstellung oder Analyse-Ebene untersucht. Unter dem Aspekt der Selbststeuerung geht Weinert (1996) davon aus, dass erst der Erwerb von Regulationstechniken es den Lernenden erlaubt, selbstgesteuert zu lernen (Haug, 2012).

Um zu untersuchen, in wieweit die Lernenden ihren Lernprozess innerhalb der Lernumgebung selbst gestalten und regulieren können, werden die metakognitiven Lernstrategien durch die Aspekte 1. Planvolles Handeln 2. Eigeninitiative, 3. Lernzielkontrolle und 4. Umgang mit Fehlern in der quasi-experimentellen Feldstudie untersucht.

Um metakognitive Lernstrategien nutzen zu können, müssen die Lernenden über kognitive Lernstrategien verfügen. Inwieweit diese vorhanden sind und welche Unterschiede im Lernverhalten von Lernenden beobachtbar sind, wird mit einer Lernstilanalyse in der quasi-experimentellen Feldstudie untersucht. Aufgrund der Ergebnisse erhält der Lehrende einen Überblick über die Zusammensetzung der Lerngruppe und kann die Lernumgebung aufgrund der Lernpräferenzen gestalten bzw. eine bestehende Lernumgebung anpassen.

2.10 Berücksichtigung von Lernstilen beim Lernen mit digitalen Medien

Es gibt verschiedene Theorien über Lerntypen. Das bekannteste und am meisten untersuchte Modell zur Beschreibung von Lernstilen ist das Modell von David Kolb, das er auf Basis seiner Theorie des experimental learning (Lernstilinventars) entworfen hat (Kolb, 1984). In diesem Test, der von vier Lernstilen ausgeht, wird nach der Art und Weise des Lernens gefragt, wie man mit Ideen umgeht und in welcher Lernsituation man sich wohl bzw. unwohl fühlt. Der Lernstilttest geht ableitend von den Phasen des Lernprozesses, von vier verschiedenen Lernstilen aus (Hamann, 2012).

Um den entsprechenden Lernstil zu bestimmen, werden in vier Kategorien (KE = konkrete Erfahrung, AB = abstrakte Begriffsbildung, RB = reflektierte Beobachtung und AE = aktives Experimentieren) je zehn Fragen gestellt, die man durch Ankreuzen der entsprechenden Situation, die einem am besten entspricht, beantwortet. Die Summe der jeweiligen Kategorie ergibt sich durch die Punkteverteilung der vorhandenen Skala.

(Ich stimme der Aussage... nicht zu = 0; kaum zu = 1; ziemlich zu = 2; voll zu = 3)

Das Muster des Kolbtests befindet sich im Anhang C.

Für alle vier Kategorien wird die Summe je Kategorie zusammengezählt.

Sie bildet die Grundlage für die Auswertung des Tests. Die ermittelten Summenwerte werden im ersten Auswertungsschritt in die folgende Kreisdarstellung, siehe Abbildung 1, auf der entsprechenden Linie der jeweiligen Kategorie, vom Mittelpunkt ausgehend, aufgetragen.

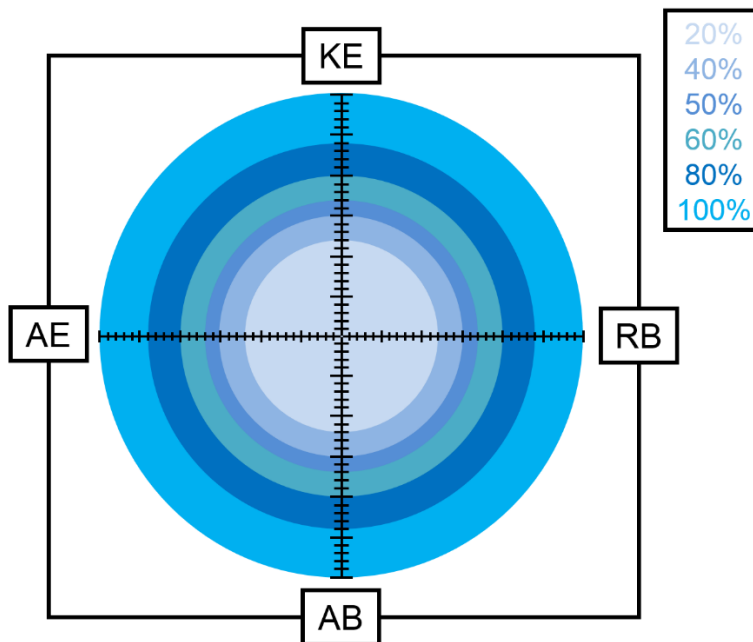


Abb. 1: Auswertungsrads (Quelle: Haller, H.D. Lernstildiagnose), eigene Darstellung

Interpretieren lassen sich die Ergebnisse durch die Höhe der Werte. Die vier Kategorien sind umso stärker ausgeprägt, je höher der entsprechende Wert ist. Die Kreise in Abbildung 1 stellen Perzentilwerte dar. Je höher der erreichte Kreis desto höher der Wert in der Kategorie. Liegt der berechnete Wert einer Kategorie in der Nähe des Kreises von 50 %, bedeutet dies, dass 50 % der vergleichbaren Bevölkerung einen gleichen bzw. geringeren Wert in dieser Kategorie hat. Wenn ein Wert in der Nähe von 20 % liegt, haben die restlichen 80 % einen höheren Wert in dieser Kategorie.

Hohe Punkte in der Kategorie „konkrete Erfahrung“ verweisen auf ein Lernen aus Erfahrung hin. Hierbei sind Lerninhalte dann effektiv, wenn sie mit konkreten Situationen verknüpft sind. Lernsituationen, in denen Erfahrungen mitgeteilt werden können, sind besonders für diese Lernenden von Vorteil. Ein hoher Wert in der Kategorie „reflektierte Beobachtung“ bedeutet, dass der Lernende Situationen und Sachverhalte sorgfältig beobachtet, jedoch sich mit eigenen Meinungsäußerungen zurückhält bzw. sich abwartend und distanziert verhält (Siebert, 2009). Bei dem Lernstil „abstrakte Begriffsbildung“ steht ein theoretischer, systematischer Zugang zur Wirklichkeit im Vordergrund. Hier bietet sich das Lernen mithilfe wissenschaftlicher Lektüre an (Siebert, 2009).

Lernaufgaben mit hohem praktischem Anteil sind dagegen bei dem Lernstil „aktives Experimentieren“ gefragt. Hier wird das Lernen durch „Versuch und Irrtum“ sowie handlungsorientiertes Lernen bevorzugt.

Es kommt sehr selten vor, dass nur einer der Lernstile bei einer Person besonders ausgeprägt ist. Wenn die vier Kategorien im Auswertungsrads eingezeichnet und durch Verbindungslinien in Beziehung gesetzt sind, bildet sich ein Lernzyklus. Laut Kolb verläuft

das Lernen als ein vierstufiger Zyklus. Die in einem Zyklus gewonnenen Erfahrungen werden in Konzepte übersetzt, die dann wieder neue Erfahrungen ermöglichen. Die Basis für Beobachtungen und Reflexionen sind unmittelbare konkrete Erfahrungen. Auf Grundlage dieser Beobachtungen können dann Theorien entwickelt werden. Aus den Theorien leiten sich Folgerungen ab, die in neuen Situationen überprüft und schließlich die Basis für neue konkrete Erfahrungen bilden (Schrader, 1994). Je nachdem, welche Art von Aufgabe zu lösen ist bzw. welcher Kontext vorliegt, ist ein Lernstil deshalb mal mehr oder mal weniger geeignet. Es gibt keinen Lernstil, der generell überlegen ist (Siebert, 2009).

Im zweiten Auswertungsschritt hat Kolb deshalb Lernstile kombiniert und zu Persönlichkeitstypen zusammengefasst. Hierzu werden erneut die zusammengezählten Summen, der vier Kategorien benötigt.

Die Summe der Kategorie AE (aktives Experimentieren) wird mit der Summe der Kategorie RB (reflektierende Beobachtung) subtrahiert. Die Summe der Kategorie AB (abstrakte Begriffsbildung) wird mit der Summe der Kategorie KE (konkrete Erfahrung) subtrahiert. Die beiden Werte werden in ein Koordinatensystem eingetragen (siehe Abbildung 2).

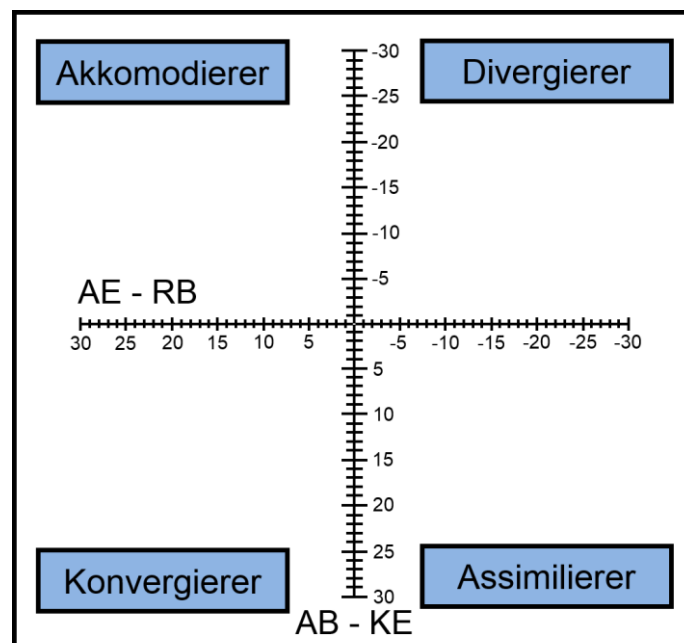


Abb. 2: Koordinatensystem (Quelle: Haller, H.D. Lernstildiagnose), eigene Darstellung

Im Koordinatensystem ist die Bezeichnung AE - RB und AB - KE als horizontale bzw. vertikale Achse festgelegt. Die vier Felder tragen die Bezeichnung Divergierer, Assimilierer, Konvergierer und Akkomodierer. Dies sind die vier grundlegenden Lernstiltypen nach Kolb. Da sich aufgrund der Subtraktion negative Vorzeichen ergeben können, gilt es, dies beim Eintragen in das Koordinatensystem zu berücksichtigen. Die beiden ermittelten Werte werden eingetragen und rechtwinkelig zueinander verbunden. Der jeweilige Lernstil ist umso stärker ausgeprägt, je weiter der Wert in einem Feld (Quadrat) liegt. Ein Mischtyp aus zwei

Lernstiltypen liegt vor, wenn einer der Werte bei 0 liegt. Ein ausgeglichener Lernstil liegt vor, wenn beide Werte bei 0 liegen. Dann verfügt der Lernende über Anteile von allen vier Lernstiltypen. Folgende vier Lernstiltypen hat D. Kolb festgelegt (Kolb, 1984):

- **Akkomodierer (Macher):** Sie haben die Bereitschaft, sich offen auf neue Situationen einzulassen. Ihre Stärken sind die Experimentierfreude und ihre Neugier. Sie neigen zu Problemlösungen durch Versuch und Irrtum. Sie befassen sich lieber mit Personen als mit Dingen.
- **Assimilierer (Denker):** Reflektierendes Beobachten und abstrakte Begriffsbildung werden bevorzugt. Das Lernen mit theoretischen Modellen und das Integrieren von Fakten zu Konzepten sind ihre Stärken. Sie befassen sich lieber mit Dingen als mit Personen.
- **Divergierer (Entdecker):** Hier werden konkrete Erfahrungen und reflektiertes Beobachten beim Lernen bevorzugt. In der Vorstellungsfähigkeit liegt ihre Stärke. Sie betrachten Situationen aus vielen Perspektiven. Sie befassen sich lieber mit Personen als mit Dingen.
- **Konvergierer (Entscheider):** Bei diesem Lernstil werden abstrakte Begriffsbildung und aktives Experimentieren bevorzugt. In der Ausführung von Ideen mit hypothetisch-deduktiven Schlussfolgerungen liegt ihre Stärke. Sie befassen sich lieber mit Dingen als mit Personen.

Die vier Lernstiltypen unterscheiden sich also aufgrund ihrer Interessen an Dingen oder Personen und der Bevorzugung von praktischen oder theoretischen Tätigkeiten (Hamann, 2012). Am 1. Messzeitpunkt der quasiexperimentellen Feldstudie wird der Lernstilstest durchgeführt, um zu untersuchen, ob die Lerngruppe eine heterogene Gruppe ist und es dadurch Unterschiede im Lernverhalten gibt. Durch die Erfassung des Lernstils erhält der Lehrende einen Überblick über die konkrete Zusammensetzung seiner Lerngruppe. Da die verschiedenen Lernstiltypen nach unterschiedlichen Lernmethoden bzw. Angeboten verlangen, kann der Lehrende die Lernumgebung an die aktuelle Situation anpassen. Somit kann jeder Lernende nach seinen Präferenzen lernen, was ihn motivierter lernen lässt.

Wenn bei der Gestaltung der Lernumgebung die lernpsychologischen Theorien, die Gestaltungsprinzipien, die Bedingungen für selbstgesteuertes Lernen und die Lernpräferenzen (Lernstile) berücksichtigt worden sind, stellt sich die Frage, ob digitale Medien das Lernen unterstützen können und in wieweit das für alle Unterrichtsfächer gleichermaßen gilt. Wie die Forschung zeigt, ist der Einsatz digitaler Medien in naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern wirkungsvoller. Allerdings kommen die Forschungen zu keinem einheitlichen Bild, ob und wann die Verwendung von Computern,

Tablet-PCs oder Smartphones zu positiven Effekten führt (Hillmayr, 2017).

Aus diesem Grund muss die Frage nach den Einsatzmöglichkeiten digitaler Lernangebote im Unterricht und deren Wirksamkeit (Fachwissen, Selbststeuerungskompetenz, Akzeptanz und Qualität des Lernangebots) beantwortet werden.

3 Lernen mit digitalen Medien im Physikunterricht der Sekundarstufe I

Zu Beginn des Kapitels werden digitale Lernangebote für den Physikunterricht vorgestellt. Anschließend wird betrachtet, in welche Lernformen diese digitalen Lernangebote integriert werden können. Daraus werden Aspekte abgeleitet, die bei der Gestaltung einer integrierten Lernumgebung „Wärmelehre“ zu berücksichtigen sind. Abschließend werden Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit digitaler Unterrichtsmedien vorgestellt.

3.1 Digitale Lernangebote für den Physikunterricht der Sekundarstufe I

Das Lernen mit digitalen Medien im Physikunterricht kann durch selbsterstellte Software oder durch die Nutzung von allgemeiner Software online oder offline erfolgen. Auf Grund der neuen technischen Möglichkeiten und der Vorstellungen in Bezug auf das selbstgesteuerte Lernen als Schlüsselkompetenz, wurden vielfältige neue Softwaretypen entwickelt. Zu ihnen gehören Lehrprogramme, durch die sich die Lernenden, neue Inhalte zu einem Thema selbst erarbeiten können, Übungsprogramme, mit deren Hilfe die Lernenden wiederholen und ihr Wissen festigen können und offene Lernsysteme, die didaktisch aufbereitete Lerninhalte zu einem bestimmten Themengebiet zur Verfügung stellen (Tulodziecki, 2004). Mit diesen offenen Lernsystemen soll den Lernenden die Möglichkeit gegeben werden, sich auf unterschiedliche Weise mit einem Themengebiet auseinanderzusetzen, mit dem Ziel das selbstgesteuerte Lernen zu unterstützen. Unterschieden werden dabei ein erkundungsorientierter, ein inhaltsorientierter oder ein projektorientierter Zugang. Neben diesen Softwareformen gibt es auch Informationssammlungen mit Suchwerkzeugen, die innerhalb eines fächerübergreifenden Unterrichtes eingesetzt werden können. Ebenfalls gibt es Mischformen, die aus Datenbestand und offenem Lehrsystem bestehen.

Weitere digitale Lernangebote sind Lernspiele, Werkzeuge zur Gestaltung, wie z.B. Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, E-Mail und Chat-Programme. Neben den Realexperimenten können sich die Lernenden mithilfe digitaler Experimentier- und Simulationsumgebungen neue Lerninhalte erschließen (Ludwig, 2017). Für den Physikunterricht ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten für digitale Lernangebote, je nach zu erreichendem Ziel:

1. Nutzung von Lehrsystemen - Hier wird der Lernende von einem Tutor begleitet oder mithilfe einer linearen Navigation durch ein Lernprogramm geführt. Diese Programme

eignen sich zum Erwerb von Faktenwissen und Orientierungswissen (Mispelbaum, 2008).

2. Nutzung offener Wissenssysteme - Hier wird der Lernende selbst aktiv, wählt frei seinen Lernweg und konstruiert sein Wissen selbst. Diese Methode ist für komplexe Lernprozesse von Vorteil (Mispelbaum, 2008).
3. Kombination von Lehr- und Wissenssystem - Bei diesem Ansatz hat der Lernende die Wahl, ob er den vorgeschlagenen Lernweg übernimmt oder einen eigenen wählt. Der Lernende kann Punkte überspringen oder andere Teile wiederholen (Mispelbaum, 2008).
4. Nutzung von Experimentierumgebungen - Diese Methode eignet sich besonders, wenn die Versuche zu kostenintensiv oder zu gefährlich wären (Theyßen, H. et al, 2016).
5. Nutzung von Simulationssoftware - Diese Methode erlaubt ein motivierendes Ausprobieren von Wirkungsgrößen. Die Lernenden können experimentieren, Vermutungen überprüfen und Zusammenhänge entdecken (Labudde, 2013).

Wenn man die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien betrachtet, stellt sich die Frage, wie sie im Physikunterricht lernwirksam eingesetzt werden können. So muss untersucht werden, in welche Lernformen sie unter Berücksichtigung lernrelevanter Bedingungen integriert werden können. Aus diesen Erkenntnissen können dann die konkreten Einsatzmöglichkeiten digitaler Unterrichtsmedien für die zu gestaltende Lernumgebung „Wärmelehre“ abgeleitet werden.

3.2 Lernformen bei der Nutzung von digitalen Medien im Physikunterricht der Sekundarstufe I

Lernen ist ein individuell unterschiedlicher Prozess, der das Anbieten von verschiedenen Lernwegen notwendig macht.

Auf Grund der vielfältigen außerschulischen Nutzung digitaler Medien, der Heterogenität von Interessen und der unterschiedlichen Lernvoraussetzungen der Lernenden werden zukünftig vier Lernformen von Bedeutung sein (Tuloziecki, 2004).

- Die 1. Lernform beinhaltet offene Formen des Lernens. Diese können durch einen Erfahrungsaustausch innerhalb eines Unterrichtsgesprächs umgesetzt werden.
- Die 2. Lernform ist die Bearbeitung von lern- und entwicklungsanregenden Aufgaben in Lerngruppen.
- Die 3. Lernform umfasst die Bearbeitung von schulischen Projekten.
- Die 4. Lernform ist das selbstgesteuerte Lernen in einer geeigneten Lernumgebung.

Alle vier Lernformen haben das Ziel, dass die Lernenden die Verantwortung für ihren Lernprozess übernehmen und sich mit ihren Bedürfnissen einbringen können. Diese Lernformen können in Einzel-, Partner- und in Gruppenarbeit durchgeführt werden. Von Vorteil ist, dass die Lernenden die Möglichkeit haben, individuell zu lernen, dabei aber auch von einer Lehrperson begleitet werden und sich im sozialen Rahmen einer Lerngruppe austauschen können. Zur Anregung und Unterstützung von Lernprozessen sind computerbasierte Angebote für alle vier Lernformen relevant (Tulodziecki, 2004). Da in dieser Arbeit die Förderung der Problemlösefähigkeiten in selbstgesteuerten Phasen des Unterrichts untersucht werden soll, wird nachfolgend die 4. Lernform, das selbstgesteuerte Lernen (vgl. Kapitel 2.7) in einer geeigneten Lernumgebung, thematisiert.

3.3 Selbstgesteuertes Lernen in einer Lernumgebung mit digitalen Medien für den Physikunterricht

Wenn man den Prozess des Lernens betrachtet, ist der Erwerb von Wissen und neuen Fertigkeiten ohne ein Minimum an Selbststeuerung überhaupt nicht möglich. Warum sollte also die Fähigkeit zur Selbststeuerung gefördert werden, wenn diese doch bei jedem bereits vorhanden ist (Mandl, 2001).

Sie sollte gefördert werden, weil die Bedeutung der Fähigkeit zur Selbststeuerung mit dem Alter zunimmt, da immer mehr Entscheidungen und Zielsetzungen im Prozess getroffen werden müssen. So ist es die Aufgabe des Unterrichts, diese Fähigkeiten zeitig auszubilden und weiterzuentwickeln, denn nur so können die Lernenden auf die unterschiedlichen Anforderungen flexibel reagieren, die in der zunehmend digitalen Wissensgesellschaft auftreten können. Diese Art der Lernumgebung sollte so aufgebaut sein, dass die Aufgaben nur durch selbstgesteuerte Formen des Lernens zu lösen sind. Das bedeutet, die Aufgaben sind so gestaltet, dass kein Lösungsweg vorgegeben wird, sondern die Lernenden müssen durch ihr aktives Handeln, selbst Lernstrategien entwickeln, die sie zum Lösen der Aufgaben benötigen (Mandl, 2001).

Da die praktischen Entscheidungen wie eine Lernumgebung gestaltet wird, zum größten Teil davon abhängen, wie in den Schulen einer Gesellschaft unterrichtet wird, ist es erforderlich, sich mit den aktuellen Auffassungen zu beschäftigen. Zwei Positionen werden aktuell diskutiert, zum einen die technologische Auffassung mit ihren Leitlinien zur Gestaltung einer geschlossenen Lernumgebung (Reigeluth & Stein, 1983; Lowyck, 1991) und zum anderen die konstruktivistische Auffassung und den damit verbundenen Leitlinien für die Gestaltung einer offenen Lernumgebung (vgl. Gerstenmayer & Mandl, 1995; Schulmeister, 2004).

Die geschlossene Lernumgebung versteht Unterrichten im Sinne von Anleiten, bei dem die aktive Rolle der Lehrende einnimmt und der Lernende vorrangig in einer passiven Rolle bleibt. Diese Lehrstrategie hat das Ziel, den Gegenstand des Lehrens und Lernens als

fertiges System zu vermitteln (Krapp, 2006). Problempunkte dieser Auffassung sind die ungleiche Rollenverteilung zwischen Lehrenden und Lernenden, wodurch die Eigeninitiative der Lernenden im Lernprozess eingeschränkt wird und so das Wissen „träge“ bleibt. Die Folge ist, dass das Wissen nicht auf Alltagsprobleme übertragen werden kann, wie die PISA-Studien zeigen (Nerdel, 2017). Eine Möglichkeit das Transferproblem „träges Wissen“ zu lösen, eröffnet die zweite, die konstruktivistische Position, die durch offene Lernumgebungen umgesetzt wird. Ziel dieser Lernumgebungen ist es, die Eigenaktivität der Lernenden zu fördern, was durch das Konzept des Entdeckenden Lernens (Brunner, 1961) umgesetzt wird. Nach diesem Konzept ist der Prozess des selbstgesteuerten Entdeckens eine notwendige Bedingung, um im 1. Schritt, Wissen zu erwerben und dieses dann im 2. Schritt zum Problemlösen zu verwenden. Problempunkt ist, dass in offenen Lernumgebungen die Anleitung bzw. die Unterstützung oft fehlen, wodurch es bei ungünstigen Lernvoraussetzungen, zu Überforderungen der Lernenden kommen kann. Um die Problempunkte der geschlossenen und der offenen Lernumgebung zu berücksichtigen, wird daraufhin eine 3. Position, eine integrierte Lernumgebung, vorgeschlagen, in dem die Selbständigkeit der Lernenden gefördert wird (Konstruktion), ihnen aber trotzdem Unterstützung (Instruktion) gegeben wird. Das Leitprinzip dieser Lernumgebung ist die Problemorientierung (Krapp, 2006).

Fünf Leitlinien sollten bei der Gestaltung der integrierten Lernumgebung beachtet werden:

- 1. Lernen anhand authentischer Probleme**
Ziel: Die Lernenden durch den Alltagsbezug motivieren, neues Wissen zu erwerben.
- 2. Lernen in multiplen Kontexten**
Ziel: Die Lernenden werden angeregt, ihr Wissen in verschiedenen Problemstellungen anzuwenden.
- 3. Lernen unter multiplen Perspektiven**
Ziel: Die Lernenden können Probleme aus verschiedenen Perspektiven untersuchen z. B. unterschiedlicher Darstellungsformen oder im Hinblick auf mögliche Erklärungen einer Problemstellung.
- 4. Lernen im sozialen Kontext**
Ziel: Die Lernenden erwerben ihr Wissen innerhalb vieler Lernphasen innerhalb eines sozialen Umfelds.
- 5. Lernen mit instruktionaler Unterstützung**
Ziel: Um eine Überforderung der Lernenden zu vermeiden, wird die Lernumgebung so gestaltet, dass zum Bearbeiten von Problemaufgaben, das erforderliche Wissen bereitgestellt wird. Zusätzlich sollten die Lehrenden, den Lernenden Unterstützung bei Problemen geben (Krapp, 2006).

Um die Leitlinien einer integrierten Lernumgebung mit digitalen Medien umzusetzen, sollte sie nach Leuders & Ulm (2007) drei Komponenten enthalten:

1. Aufgaben und ihre Trägermedien
2. Organisationsformen des Lernens
3. Unterstützungsangebote durch die Lehrenden sowie verfügbare Medien (Haug, 2011)

Aus den theoretischen Überlegungen der vorangegangenen Kapitel wurde ersichtlich, dass das Lernen mit digitalen Medien zum Erwerb von Selbststeuerungskompetenzen ein dynamischer Prozess ist, bei dem kognitive, metakognitive und motivationale Aspekte zusammenwirken, diese aber auch in Wechselwirkung zu den inhaltsrelevanten Rahmenbedingungen innerhalb des didaktischen Konzepts stehen (Haug, 2012).

Bevor digitale Lernmaterialien für die integrierte Lernumgebung entwickelt werden, ist es wichtig, sich mit den Erkenntnissen zur Lernwirksamkeit zu beschäftigen, um zu erfahren, inwieweit das Lernen mit digitalen Medien lernförderlich ist. Die Ergebnisse können Hinweise über notwendige Bedingungen aufzeigen, die dann bei der Gestaltung und Evaluierung der Lernumgebung berücksichtigt werden sollten.

3.4 Forschungsergebnisse zur Lernwirksamkeit von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht

Zahlreiche Studien haben sich damit beschäftigt, ob die Verwendung von digitalen Medien im Unterricht die Lernprozesse positiv beeinflusst. Auf Grund der zahlreichen Forschungsergebnisse ist es schwierig, sich einen aussagekräftigen Überblick zu verschaffen. Es stellt sich zu dem die Frage, können digitale Medien in allen Unterrichtsfächern gleichermaßen eingesetzt werden? Durch die techniknahen Themen könnten die naturwissenschaftlichen Fächer ein höheres Potential aufweisen. Um einen differenzierten Überblick über den Stand der Forschung zu bekommen, wurde seit dem Jahr 2000 im Zentrum für internationale Vergleichsstudien an der Technischen Universität München eine Metastudie zum Thema „Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe“ durchgeführt. Dadurch wurde es möglich, zuverlässige Aussagen zur Lernwirksamkeit zu treffen. Gleichzeitig konnte durch die Gegenüberstellung von unterschiedlichen Merkmalen der Einzelstudien festgestellt werden, unter welchen Bedingungen und in welchem Ausmaß positive Effekte auftreten. So konnte festgestellt werden, dass die Lernenden, die in den Unterrichtsfächern Mathematik, Physik, Biologie und Chemie mit digitalen Unterrichtsmedien gelernt haben, durchweg bessere Ergebnisse in den durchgeführten Leistungstests erreichten als die Lernenden, die traditionell unterrichtet wurden (Hillmayr, 2017).

Dabei ist anzunehmen, dass die Verwendung des Mediums nicht allein dazu führt, dass sich ein höherer Lernerfolg zeigt. Sondern es kommt darauf an, wie der Unterricht bzw. die

Lernumgebung gestaltet ist, wie die Unterrichtsmedien integriert werden und über welche Voraussetzungen, Einstellungen, Fach- und Medienwissen die Lernenden verfügen.

So zeigen Unterrichtsmedien einen höheren positiven Einfluss, wenn neben digitalen Medien zusätzlich traditionelles Material verwendet wird (Hillmayr, 2017). Desweiteren konnte in der Metastudie gezeigt werden, dass die Lehrenden, die vor dem Einsatz digitaler Medien eine Schulung zur Nutzung dieser Medien absolviert haben, einen größeren positiven Einfluss auf die Leistungen der Lernenden hatten. Wie aber auch in der Metastudie festgestellt wurde, fehlen genau diese Fortbildungen.

Da Kommunikation eine wesentliche Rolle im Lernprozess spielt, wurde ebenfalls untersucht, inwieweit der Austausch beim Lernen mit digitalen Medien lernförderlich ist. Es konnte festgestellt werden, dass die Lernenden beim Einzellernen vom Einsatz digitaler Medien profitieren, aber stärker, wenn sie in Paaren an einem Gerät lernen (Hillmayr, 2017).

Durch den Austausch über Themen, die Überprüfung von Thesen und das Diskutieren über Fehler können sich die Lernenden gegenseitig unterstützen.

Um sich beim Lernen mit digitalen Medien austauschen zu können, ist es notwendig, dass die Lernenden über Selbstlernstrategien verfügen, aber auch von der Lehrkraft in ihrem Lernprozess unterstützt werden. Des Weiteren wurde in der Metastudie „Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe“ (2017) untersucht, ob das Lernen mit digitalen Medien motivationsfördernd ist. In allen vier untersuchten Unterrichtsfächern konnte eine höhere Motivation für das jeweilige Fach festgestellt werden (Hillmayr, 2017). Ebenso wurde in der Metastudie festgestellt, dass digitale Medien Möglichkeiten zur Differenzierung im Unterricht bieten. Aber aufgrund der unzureichenden Datenbasis konnten keine Analysen durchgeführt werden. Da es bedeutsam ist, aufgrund der wachsenden Heterogenität der Lernenden, im Unterricht zu differenzieren, wird in der quasi-experimentelle Feldstudie ein Lernstilstest durchgeführt. Ziel ist zu zeigen, dass digitale Unterrichtsmedien so gestaltet werden können, dass sie die individuellen Lernvoraussetzungen der Lernenden berücksichtigen, um die Lernenden nicht zu überfordern (Hillmayr, 2017).

3.5 Schlussfolgerungen für den Physikunterricht der Sekundarstufe I

Aus den Ergebnissen der Metastudie (vgl. Kapitel 3.4) wird ersichtlich, dass die Frage nach den Wirkungen digitaler Medien im Unterricht nur im Zusammenhang der verschiedenen Aspekte beantwortet werden kann. Zu diesen Aspekten gehören die individuellen Voraussetzungen, die Einstellungen, das Fach- und Medienwissen der Lernenden und Lehrenden, aber auch die Qualität der Lernmaterialien und die Lernform. Eine Wirkungsaussage im Hinblick auf ein bestimmtes Medienangebot kann nicht pauschal getroffen werden (Herzig, 2006).

Aus diesem Grund ist es notwendig, ein digitales Lernmodul für den Physikunterricht auf Grundlage der Gestaltungsprinzipien selbst zu entwickeln, um zu untersuchen, wie die Problemlösefähigkeiten durch das selbstgesteuerte Lernen in der integrierten Lernumgebung gefördert werden können. Neben der Berücksichtigung mediendidaktischer Aspekte ist es notwendig, die Mediennutzungsaspekte zu thematisieren, um zu ermitteln, über welche Lernvoraussetzungen und Fähigkeiten die Lernenden verfügen sollten, um Problemlöse- und Selbststeuerungskompetenzen erwerben zu können.

4 Gestaltung einer integrierten Lernumgebung mit digitalen Medien für den Physikunterricht der Sekundarstufe I zum Thema „Wärmelehre“

Um untersuchen zu können, inwieweit die Problemlösefähigkeiten indirekt durch selbstgesteuertes Lernen in einer Lernumgebung mit digitalen Medien gefördert werden können, soll eine integrierte Lernumgebung gestaltet werden. Da in diesem Prozess zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen sind, ist es notwendig ein Konzept für eine integrierte Lernumgebung zu erarbeiten. Ziel ist, die Elemente des Vorgehens bei der Entwicklung von digitalen Unterrichtsmaterialien und ihre Integration in eine Lernumgebung zu beschreiben, um sie als Vorlage für die zukünftige Unterrichtsgestaltung zu nutzen.

4.1 Handlungsanalyse

Ausgangspunkt der Überlegungen zur Gestaltung der integrierten Lernumgebung ist, das in PISA-Studien festgestellte Transferproblem, wonach deutsche Schüler in naturwissenschaftlichen Fächern nur begrenzt ihr Fachwissen in neuen Kontexten anwenden und zum Lösen von Anwendungsaufgaben nutzen können (Nerdel, 2017).

Ein Weg um dieses Problem zu lösen, ist Möglichkeiten für individualisiertes Lernen zu schaffen. Innerhalb einer integrierten Lernumgebung mit digitalen Medien können die Lernenden selbständig ausprobieren, physikalische Aufgaben zu lösen.

Bestandteile dieser Lernumgebung sind ein digitales Lernmodul mit Fachwissen und ein analoges Aufgabenmodul mit problemhaltigen Textaufgaben, die innerhalb der selbstgesteuerten Lernphase des Unterrichts eingesetzt werden. Das Lernmodul wird inhaltlich und gestalterisch konzipiert. Das Aufgabenmodul wird inhaltlich nicht selbst entwickelt, weil die Gestaltung von kompetenzorientierten Textaufgaben ein komplexer Prozess ist, der den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde. Aus diesem Grund wird als Aufgabenmodul, das bereits an Universität Bremen entwickelte „Thermodynamic Concept Inventory“ (Einhaus, 2007) genutzt. Für die Lernumgebung wird das TCI aus strukturellen Gründen gestalterisch an das Lernmodul angepasst. Da dieser Gestaltungsprozess ein

dynamischer Lernprozess ist, wird die Lernumgebung mit dem gestalteten Lernmodul und dem Aufgabenmodul als vorläufig angesehen. Der Prototyp wird dann in Bezug auf seine Funktionalität und Qualität im Rahmen einer Quasi-experimentelle Feldstudie geprüft, um zu analysieren, ob das Lernen in der gestalteten integrierten Lernumgebung lernwirksam ist und als Maßnahme zur Lösung des Transferproblems (Vermeidung von „trägem“ Wissen) geeignet ist. Dieser Forschungsansatz geht davon aus, dass sich verschiedene Einflussfaktoren wechselseitig beeinflussen und deshalb sollten sie auch nicht isoliert untersucht werden, um das Transferproblem (Vermeidung von trägem Wissen) zu lösen (Wilhelm, 2014). Für die integrierte Lernumgebung werden auf der Basis von Forschungsergebnissen zur didaktischen Gestaltung, zur Mediengestaltung und Mediennutzung (vgl. Kapitel 2.3 und 2.5), verschiedene Aspekte zur Lösung des Transferproblems angepasst. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die praktische Anwendung im Unterricht. Die gewonnenen Erkenntnisse werden dann analysiert, um ein Re-Design für die Lernumgebung zu entwickeln, das im 2. Zyklus des Design-Based-Research-Forschungsansatz erprobt wird.

Ziel des zyklischen Vorgehens ist, eine integrierte Lernumgebung durch theoriebasierte Forschung zu entwickeln und diese unter praktischen Bedingungen zu erproben, bis sie lernwirksam im Unterricht eingesetzt werden kann.

4.2 Zielgruppe

Die Zielgruppe sind Mädchen und Jungen der Sekundarstufe I aller Schulformen. Die Lernenden sind im Alter zwischen 15 und 16 Jahren. Sie lernen innerhalb der Lernumgebung selbstgesteuert mit digitalen Medien in Einzelarbeit unter organisatorischer Aufsicht ihres Fachlehrers. Die Bedienung der verwendeten Tablet-PCs wird innerhalb der Lerngruppen besprochen. Digitale Technologien gehören zum Alltag der Zielgruppe, da sie mit Internet, Smartphone und sozialen Medien aufgewachsen sind (Siripaiboon, 2016).

4.3 Lernzielanalyse

Ein Merkmal der Unterrichtsqualität ist die Zieltransparenz. Je nachdem, welche Sicht auf den Lehr- Lernprozess betont werden soll, werden vier verschiedene Ebenen bei der Lernzielanalyse unterschieden: Leitziele, Richtziele, Grobziele und Feinziele (Nerdel, 2017). Leitziele sind allgemeine Ziele, die die Lernprozesse der Schule umfassen und für alle Unterrichtsfächer gültig sind. Sie leiten sich aus dem Bildungs- und Erziehungsauftrag der Verfassung an die Schule ab. Ein wichtiges Leitziel ist das selbständige Handeln der Lernenden zu fördern, indem ihre individuellen Fähigkeiten berücksichtigt werden (Hilger, 2010).

4.3.1 Richtziele

Richtziele sind allgemeine fachspezifische Ziele, bei denen die Bildung und Erziehung der Lernenden im Mittelpunkt steht. Sie leiten sich aus den Leitziele ab. Zu ihnen gehört, dass die Lernenden einen Einblick in die Arbeits- und Denkweise der Physik bekommen, physikalische Begriffe und Prozesse kennenlernen, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten verstehen und ihr Wissen anwenden können (Nerdel, 2017).

4.3.2 Grobziele

Grobziele legen die Lernergebnisse innerhalb des Fachs Physik fest. Hierzu gehören der Erwerb und die Anwendung von Fachwissen und das Verständnis für naturwissenschaftliches Arbeiten. Das Grobziel für das Lernen in der integrierten Lernumgebung mit digitalen Medien ist, dass die Lernenden anwendbares physikalisches Wissen erwerben, Phänomene naturwissenschaftlich erklären, selbstgesteuert Probleme lösen und durch die Autonomieerfahrung motiviert sind, eigenständig weiter zu lernen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es nötig, dass die Lehrenden ihre Vorstellungen verändern, wie unterrichtet wird, denn durch die ungleiche Rollenverteilung zwischen Lehrenden und Lernenden wird die Eigeninitiative der Lernenden eingeschränkt (Nerdel, 2017).

4.3.3 Feinziele

Die Feinziele beschreiben, was die Zielgruppe nach dem Lernen mit der Lernumgebung wissen und können muss. Sie bilden für die Lehrenden die Grundlage für die Unterrichtsplanung. Zwei Dimensionen müssen diesbezüglich unterschieden werden, zum einen die Vermittlung von Fachwissen (sachbezogene Lernziele) und zum anderen, der Auftrag zur Bildung der Persönlichkeit (prozessbezogene Lernziele) (Hilger, 2010).

4.3.3.1 Sachbezogene Feinziele

Durch die sachbezogenen Lernziele wird festgelegt, was und in welchem Umfang gelernt werden soll. Hier ist darauf zu achten, dass die Lernenden nicht unter- oder überfordert werden. Dazu sollten, wie in den Theorien zum multimedialen Lernen festgestellt, die physikalischen Begriffe und Gesetzmäßigkeiten in lerngerechte Abschnitte strukturiert werden, um sie dann im Zusammenhang zur Ausbildung von Schemata innerhalb des Themas „Wärmelehre“ darzustellen. Die Lernenden sollen anwendbares Fachwissen laut des Lehrplans Physik für die weiterführenden Schulen der Klassenstufe 7 bis 9/10 in Rheinland-Pfalz zu den Themengebieten „Thermische Ausdehnung im Experiment und Modell“ sowie „Wärmetransporte und ihre Beeinflussung“ erwerben.

Die Themen werden in folgende Teilthemen untergliedert:

1. Aggregatzustände
2. Anomalie des Wassers
3. Leistung einer Wärmequelle
4. Temperatur als Maß für die mittlere Bewegungsenergie der Teilchen eines Körpers,
5. Energietransport durch Wärmeleitung und -strahlung, Konvektion
6. Stirlingmotor
7. Spezifische Wärmekapazität
8. 1. Hauptsatz der Thermodynamik
9. Volumenänderung von Körpern bei Änderung der inneren Energie.

4.3.3.2 Prozessbezogene Feinziele

Durch das Lernen in der gestalteten Lernumgebung sollen die Problemlöse- und Selbststeuerungsfähigkeiten gefördert werden. Dafür werden Problemaufgaben als Textaufgaben in die Lernumgebung integriert. Sie haben nicht nur motivierende und anleitende Funktion, sondern sie bilden den zentralen Anker im Lernprozess. Dabei ist die Lernumgebung so gestaltet, dass die Lernenden nur durch selbstgesteuertes Handeln die Aufgaben lösen können, weil der Lösungsweg selbst gefunden werden muss. Die Lernenden müssen das Problem analysieren, Informationen aus dem gegebenen digitalen Lernmodul nutzen und bewerten. Dieser Problemlösungsprozess soll durch die Verwendung verschiedener externer Repräsentationen (Text, Grafiken, Diagramme, symbolische Darstellung), durch interessante Anwendungsaufgaben, durch die Interaktivität als eine Eigenschaft digitaler Medien und durch das Autonomieerleben, aufgrund des Ausprobierens individueller Lernstrategien, gefördert werden (Goy, 2016).

Aufgrund der Ergebnisse der PISA-Studie 2001 wurde durch die Kultusministerkonferenz festgelegt, dass jeder Unterricht in Deutschland zukünftig kompetenzorientiert durchgeführt werden soll. Ziel ist, die Lernziele einheitlich erfassen und Lernergebnisse vergleichen zu können.

4.4 Kompetenzen

Unter dem Begriff „Kompetenz“ werden nach Weinert (2001) die verfügbaren oder erlernbaren kognitiven Fähigkeiten, Fertigkeiten und Einstellungen der Lernenden verstanden, um Probleme zu lösen. Welche Kompetenzen in welcher Niveaustufe mit dem mittleren Abschluss erwartet werden, wird in den Bildungsstandards beschrieben (Kerres, 2018). Zu folgenden Themen sollen die Lernenden nach dem Lernen in der Lernumgebung „Wärmelehre“ Fachwissen (Kompetenzbereich 1) verfügen:

1. Zufuhr und Abgabe von Wärme (Übertragungsgröße)
2. Volumenänderung von Körpern bei Änderung der inneren Energie (Summe der kinetischen und potenziellen Energien aller Teilchen eines Körpers und als Zustandsgröße)
3. Anomalie des Wassers
4. Energietransport durch Wärmeleitung und -strahlung, Konvektion
5. spezifische Wärmekapazität
6. Temperatur als Maß für die mittlere Bewegungsenergie der Teilchen eines Körpers
7. Temperaturmessung
8. Leistung einer Wärmequelle

Kompetenzen können durch die aktive Auseinandersetzung mit den Lerninhalten des Selbstlernmoduls "Wärmelehre" erworben werden. Die Lernenden erweitern ihr Fachwissen zu physikalischen Begriffen und Gesetzmäßigkeiten, strukturieren ihr Fachwissen und ordnen es Basiskonzepten zu. Sie stellen Zusammenhänge her und können so ihr neu erworbenes Wissen beim selbständigen Problemlösen nutzen. Die Lernenden bestimmen den Lernweg und die Vorgehensweise beim Lösen des Wissenstest (20 Textaufgaben) selbst. (ISB, 2019). Um die Lernenden individuell während des Lernprozesses unterstützen zu können, werden die Lernvoraussetzungen der Lerngruppe vom Lehrenden erfasst. Während der Selbstlernphase gibt der Lehrende den Lernenden individuell Feedback. Durch diese Rückmeldungen können die Lernenden ihren Lernprozess reflektieren. Sie können Lösungswege verwerfen und ihre Ergebnisse überprüfen. Am Ende der Selbstlernphase geben die Lernenden dem Lehrenden Feedback, wie sie die Aufgaben gelöst und wie sie ihren Lernprozess organisiert haben, um das Lernziel zu erreichen. Danach gibt der Lehrende den Lernenden sein Feedback zum Wissenszuwachs der Lerngruppe. Eng verbunden mit den fachgebundenen Kompetenzen sind die überfachlichen Kompetenzen, die sich auf den Lernprozess insgesamt beziehen. Durch das Lernen in der gestalteten Lernumgebung sollen die Problemlösekompetenz, die Selbststeuerungskompetenz und die Medienkompetenz gefördert werden (Prenzel, 2012). Die Problemlösekompetenz wird definiert als die Fähigkeit, Prozesse kognitiv zu verarbeiten, um eine Problemstellung bzw. Aufgabe zu verstehen und zu lösen, in denen die Lösungsmethode erst gefunden werden muss. Um diese Fähigkeit zu entwickeln, muss die Bereitschaft der Lernenden vorhanden bzw. geweckt werden, sich aktiv mit diesen Problemstellungen auseinanderzusetzen. Um diese Problemaufgaben zu lösen, muss vorhandenes Wissen genutzt werden, um neues Fachwissen zu konstruieren. Die Förderung der Problemlösekompetenz erfordert von den Lernenden sich aktiv mit einer Fragestellung zu beschäftigen, dazu sollten die Lernenden wiederum über

Selbststeuerungskompetenz verfügen. Darunter werden die Fähigkeiten verstanden, den Lernprozess vorzubereiten, geeignete Lernstrategien anzuwenden und den Lösungsprozess zu kontrollieren und zu bewerten (Meyer, 2018).

Die Selbststeuerungskompetenz kann gefördert werden, wenn den Lernenden eine Lernumgebung zur Verfügung steht, in der sie die Möglichkeit haben, sich auszuprobieren. Durch den Einsatz von digitalen Medien in einer Lernumgebung kann das Ausprobieren unterstützt werden. Um digitale Medien effektiv zum Lernen nutzen zu können, müssen die Lernenden über die notwendigen Kenntnisse zur Mediennutzung und Bewertung verfügen (Mandl, Krause, 2001). Aufgrund der zahlreichen Faktoren, die den Lernprozess beeinflussen können (vgl. Angebot-Nutzungs-Modell nach Helmke, 2007), ist es notwendig für den Aufbau von fachlichen und überfachlichen Kompetenzen, die Lernvoraussetzungen der Lerngruppe zu kennen, denn die Kompetenzen entwickeln sich nicht durch eine kurzfristige Maßnahme, sondern im wechselseitigen Zusammenwirken während eines längeren Prozesses.

4.5 Bedingungsanalyse

Um den Lernprozess gestalten zu können, darf er nicht nur zielorientiert sein, sondern muss die lernrelevanten Bedingungen berücksichtigen (Helmke, 2007).

Zu den Lernvoraussetzungen gehören 1. Kenntnisse, Einstellungen, Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Lerngegenstand, 2. Lerngewohnheiten und 3. Interessen und die Motivation zum Erreichen des Lernziels. Der Lehrende sollte die Analyse der Lernvoraussetzungen nach geeigneten Erhebungsmethoden vornehmen. Angesichts begrenzter zeitlicher Ressourcen orientiert man sich häufig an Erfahrungswerten, was auf Grund der Heterogenität der Lerngruppen dann aber problematisch sein kann. Aus diesem Grund sollte eine situationsbedingte Abwägung zwischen diagnostischen und instruktionalen Maßnahmen erfolgen (Sedlmayer & Wetzler, 1998). Die Erfassung der individuellen Lernvoraussetzungen erfolgt innerhalb der Quasi-experimentelle Feldstudie auf drei Ebenen, einem Wissenstest zu ihrem Vorwissen, einer schriftlichen Befragung zu ihren Fähigkeiten und Einstellungen und einem schriftlichen Lernstilstest zur Erfassung ihrer Lerngewohnheiten. Um die Lernenden durch die Vorbefragungen nicht zu überlasten und ihre Motivation zu verlieren, wird die Anzahl der zu untersuchenden Aspekte beschränkt.

4.6 Didaktische Konzeption der Lernumgebung „Wärmelehre“

Um Lerninhalte lernwirksam zu präsentieren, müssen sie didaktisch aufbereitet werden, um Lernprozesse anzuregen. In dieser Arbeit wird eine integrierte Lernumgebung mit dem Leitprinzip „Problemorientierung“ gestaltet (Krapp, 2006).

Diese Lernumgebung besteht aus drei Komponenten (vgl. Kapitel 3.3) nach Leuders und Ulm (2007):

1. Aufgaben und ihre Trägermedien
2. Organisationsformen des Lernens
3. Unterstützungsangebote durch die Lehrenden sowie verfügbare Medien (Haug, 2011)

Die Komponenten werden in der Lernumgebung „Wärmelehre“ wie folgt umgesetzt:

1. Die Aktivierung der Lernenden erfolgt nach der Methode „Lernen mit Fällen“ in Form von problemorientierten Textaufgaben im Multiple Choice Format. Die Textaufgaben für die Lernumgebung wurden nicht selbst entwickelt, sondern es wurden die empirisch untersuchten problemhaltigen Textaufgaben aus dem „Thermodynamic Concept Inventory“ (2007) genutzt, welche an der Universität Bremen entwickelt wurden. Die Aufgaben sind so konzipiert, dass durch den Test ermittelt werden kann, ob die im Lehrplan geforderten Kompetenzen erreicht worden sind. Die 20 Textaufgaben sind so aufgebaut, dass zuerst eine Alltagssituation beschrieben wird, um den Kontextbezug herzustellen. Dann soll eine Problemfrage analysiert und beantwortet werden. Zur Unterstützung stehen den Lernenden zwei Lösungsvorschläge im Multiple-Choice-Format zur Verfügung. Wenn die Lernenden zum Lösen der Aufgaben Fachwissen benötigen, steht ihnen zur Unterstützung ein Lernmodul zur Verfügung. Die Textaufgaben sind so gestaltet, dass der Lösungsweg selbstständig gefunden werden muss. Dabei sollen die Lernenden die komplexen Fragestellungen auf der Grundlage ihrer Kenntnisse konstruktiv bearbeiten. Durch Ausprobieren bauen sie ein mentales Modell auf und nutzen dieses dann zum Lösen der Problemaufgaben.

2. Die Organisationsform bzw. Lernform ist das individualisierte Lernen durch selbstgesteuertes Problemlösen innerhalb einer organisierten Unterrichtsstruktur mit verschiedenen Medien nach dem Blended-Learning-Konzept. Bei diesem Ansatz werden elektronische Lernformen mit traditionellen Lernformen verbunden. Wesentlich ist, dass bei dieser Lernform der Lernende im Mittelpunkt steht, seinen individuellen Lernweg und sein Lerntempo wählt, um selbstgesteuert die Problemaufgaben zu bearbeiten. Um die Lernenden individuell nach ihren Lernpräferenzen zu fördern, wird die Lernumgebung so gestaltet, dass verschiedene Zugangswege (theoretische Zusammenhänge, Beispiele, Übungen) zum Lernstoff möglich sind, da jeder Lernende nach der Lernstiltheorie von Kolb (vgl. Kapitel 2.8) mit neuem Wissen anders umgeht (Hamann, 2007).

3. Als Unterstützungsangebot wird ein Lernmodul mit relevanten Informationen mithilfe von Animationen zur Verfügung gestellt. Dabei ist es bedeutsam, dass physikalische Begriffe und physikalische Theorien gleichzeitig dargestellt werden. Die Lernenden können aus dem

Unterstützungsangebot individuell herausarbeiten, welche Informationen sie zur Lösung der Textaufgabe benötigen. Das neue Wissen wird nach den Gestaltungsprinzipien (vgl. Kapitel 2.4) und Gestaltungsempfehlungen (vgl. Kapitel 2.5) so dargestellt, dass es eine Neuheit darstellt, um die Problemorientierung der Lernenden zu fördern (Hamann, 2012).

In der Lernsituation steht jedem Lernenden ein Tablet-PC zum individuellen Lernen zur Verfügung. Die Ergebniskontrolle erfolgt ohne Benotung innerhalb einer kommunikativen Auswertungsphase. Ziel ist, die Lernumgebung so zu gestalten, dass die Bedingungen des Lehr-Lernprozesses, also die individuellen Lernvoraussetzungen, der Lerngegenstand und die Eigenschaften der Lernsituation berücksichtigt werden, damit die Lernenden in der Lernumgebung, Fachwissen selbständig konstruieren und es zum Problemlösen nutzen können (Schnotz, 2011).

4.7 Gestaltung des digitalen Lernmoduls „Wärmelehre“

In diesem Kapitel werden die Gestaltungüberlegungen für das Lernmodul „Wärmelehre“ dargestellt. Zuerst wird die inhaltliche Strukturierung festgelegt. Dann folgt die graphische Umsetzung nach den Gestaltungsprinzipien. Anschließend wird das mediendidaktische Konzept vorgestellt.

4.7.1 Inhaltliche Strukturierung

Inhaltlich ist das Lernmodul „Wärmelehre“ in die Themengebiete „Thermische Ausdehnung im Experiment und Modell“ sowie „Wärmetransporte und ihre Beeinflussung“ des Lehrplans Physik für die weiterführenden Schulen der Klassenstufe 7 bis 9/10 in Rheinland-Pfalz (RLP, 2014) einzuordnen. Schwerpunkt dieser Themengebiete ist der Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“ (vgl. Kapitel 4.4). Die Lernenden sollen durch die zusammenhängende Darstellung beider Themengebiete erkennen, dass sich die Eigenschaften von Stoffen und Körpern mit der Temperatur ändern. Sie sollen Zusammenhänge und Effekte, die bei Temperaturänderungen auftreten, beschreiben und Gesetzmäßigkeiten ableiten. Ziel ist, ihr neu erworbenes Wissen zur Beantwortung der komplexen Fragestellungen des Wissenstest (20 Textaufgaben) zu nutzen (ISB, 2019).

4.7.1.1 Sequenzierung des Lernmoduls

Die lernorientierte Sequenzierung erfolgt auf Grundlage der Vorkenntnisse und der Darstellungserwartungen der Lernenden infolge ihrer alltäglichen Kommunikationspraxis. Die inhaltsorientierte Sequenzierung folgt einem konzeptorientierten Ansatz, da die semantischen Relationen zwischen den Begriffen innerhalb der Wissensstruktur im Vordergrund stehen (vgl. Kapitel 4.5.2). Der Lernende kann sich durch ein System von Begriffen und Gesetzmäßigkeiten zum Thema „Wärmelehre“ bewegen (Schnotz, 2011).

Das Lernmodul besteht aus den folgenden 15 Lerninhalten, die von den Themenschwerpunkten (vgl. Kapitel 4.4.) abgeleitet worden sind:

1. Aggregatzustände der Materie
2. Anomalie des Wassers
3. Entropie in der Badewanne
4. 1.Hauptsatz der Thermodynamik
5. Grundgleichung der Wärmelehre
6. Innere Energie
7. Richmannsche Mischungsregel
8. Spezifische Wärmekapazität
9. Stirlingmotor
10. Wärmelehre - Zustandsänderungen
11. Wärme-Temperatur-Diagramm
12. Wärmeübertragung
13. Wirkungsgrad - Bestimmung
14. Wirkungsgrad
15. Zustandsänderung von Gasen

Als Lernhilfen werden mit den Lerngruppen vor Beginn der Studie die folgenden Punkte besprochen:

1. die Vorstrukturierung der Lerninhalte
2. die Einordnung der Lerninhalte in das Thema „Wärmelehre“
3. das Lernziel
4. die zur Verfügung stehende Lernzeit

4.7.1.2 Aufbereitung der Lerninhalte

Für die inhaltliche Aufbereitung der Lerninhalte wird das Physiklehrbuch Dorn/ Bader - Physik in einem Band SI+SII (2012) verwendet. Dieses Lehrbuch wurde ausgewählt, weil hier das Thema „Wärmelehre“ mit den notwendigen Begriffen verständlich im Zusammenhang dargestellt wurde. Die erste Maßnahme ist die Elementarisierung, in dem die fachlichen Lerninhalte des Themas vereinfacht und in einzelne Elemente zerlegt werden, um diese für die Lernenden überschaubar zu machen. Dann erfolgt als zweite Maßnahme die didaktische Rekonstruktion, worunter der fachgerechte, zielgerechte und lernergerichte Wiederaufbau von neuen Sinneinheiten für das digitale Lernmodul verstanden wird (Kattman et.al, 1997). Das Ziel der inhaltlichen Ausbereitung ist, die relevanten Informationen für die Lerninhalte zu strukturieren und in ein digitales Lernmodul so zu integrieren, dass den Lernenden das Fachwissen zum Thema „Wärmelehre“ in seiner Komplexität zur Verfügung

steht. Als Struktur für das digitale Lernmodul wird ein linearer Ansatz gewählt, der aus hintereinanderliegenden Lerninhalten besteht, die aber nicht in einer bestimmten Reihenfolge abgerufen werden müssen, sondern frei wählbar sind (Mispelbaum, 2008).
Nachfolgend werden die 15 neustrukturierten Lerninhalte vorgestellt.

1. Aggregatzustände der Materie:

In drei Aggregatzuständen (fest, flüssig und gasförmig) kann die Materie vorkommen. Hier ist es wichtig zu wissen, dass die Änderung eines Aggregatzustandes eines Stoffes, von einer Veränderung der Temperatur und des Drucks abhängig ist. Der Aufbau von Materie kann durch das Teilchenmodell beschrieben werden.

2. Die Anomalie des Wassers:

Hier wird zunächst erklärt, was unter dem unnormalen thermischen Verhalten des Wassers zu verstehen ist und dass die Anomalie, das Leben von Tieren und Pflanzen im Wasser, überhaupt erst möglich macht.

Bei der Erwärmung zwischen 0° C und 4° C verkleinert sich das Volumen von Wasser. Festes Wasser, das heißt Eis, hat bei gleicher Temperatur ein größeres Volumen als flüssiges. Alle Gase dehnen sich bei Erwärmung aus und ziehen sich bei Abkühlung zusammen (materialunabhängig).

3. Entropie:

Am Beispiel einer Badewanne wird der Begriff Entropie erklärt. Wenn die Seifenblasen zerplatzen, löst sich der Schaum auf, die Wasseroberfläche wird glatt und die Entropie nimmt zu. Die Zunahme der Entropie bedeutet, da sich der Raum für die Moleküle der Flüssigkeit nicht mehr auf die Bläschen beschränkt, sondern dass die Moleküle mehr Möglichkeiten haben sich anzuordnen.

4. 1. Hauptsatz der Thermodynamik:

Neben einer einführenden Erklärung wird der 1. Hauptsatz ($\Delta E = \Delta Q + \Delta W$) im Inhalt dargestellt. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist aus dem Satz der Energieerhaltung abgeleitet und besagt, dass jedes System eine innere Energie (E) besitzt, die nur erhöht oder verringert werden kann durch Zufuhr oder den Entzug von mechanischer Arbeit (W) und/oder einer Wärmemenge (Q).

5. Grundgleichung der Wärmelehre: ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$)

Der Lerninhalt erklärt, dass mithilfe der Grundgleichung der Wärmelehre ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$) die Wärme, als Änderung der inneren Energie, berechnet werden kann, die einem Körper entweder zugeführt oder von ihm abgegeben wird.

6. Innere Energie E_i

Es wird erklärt, dass die gesamte, für thermodynamische Umwandlungsprozesse zur Verfügung stehende, Energie eines physikalischen Systems als innere Energie

(U) bezeichnet wird und dass diese in einem abgeschlossenen System nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik konstant ist.

7. Richmannsche Mischungsregel:

Das Mischen von zwei Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Temperaturen wird durch den Lerninhalt erklärt. Neben einer allgemeinen Erläuterung wird die Gleichung für die Mischtemperatur hergeleitet und anhand eines Beispiels verdeutlicht.

8. Spezifische Wärmekapazität:

Die spezifische Wärmekapazität wird als thermodynamische Stoffeigenschaft und Fähigkeit eines Stoffes beschrieben, um thermische Energie zu speichern. Wieviel Wärme (Q) von einem Stoff bei Temperaturänderungen pro Masseneinheit aufnehmen kann, wird untersucht.

9. Stirlingmotor:

Der Lerninhalt befasst sich mit einem einfachen schematischen Aufbau des Motors und erklärt gleichzeitig den Prozess, der in den vier typischen Zwischentakten dargestellt wird.

10. Wärmelehre- Zustandsänderungen

In diesem Lerninhalt wird auf die verschiedenen thermodynamisch relevanten Zustandsänderungen eingegangen.

11. Wärme-Temperatur-Diagramm:

Im Lerninhalt wird mithilfe eines Koordinatensystems die Temperatur (T) eines Körpers in Abhängigkeit von der zugeführten Wärme (Q) dargestellt.

Die Temperatur eines Gegenstands ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie seiner Teilchen. Die Celsius-Temperatur wird durch die Fixpunkte 0°(Gefrierpunkt) und 100°C (Siedepunkt von Wasser) innerhalb einer gleichmäßig eingeteilten Skala dargestellt.

12. Wärmeübertragung:

Im Lerninhalt wird erläutert, dass der Transport von Energie, infolge eines Temperaturunterschieds, über mindestens eine thermodynamische Systemgrenze hinweg als Wärmeübertragung bezeichnet wird. Die Energie, die hierbei übertragen wird, wird als Wärme bezeichnet und ist eine Prozessgröße. Die Übertragung der Wärme erfolgt immer in Richtung der Orte mit tieferen Temperaturen.

Arten der Wärmeübertragung:

1. Bei der Wärmeleitung wird Wärme durch direkten Kontakt zwischen zwei Körpern mit unterschiedlicher Temperatur vom wärmeren auf den kälteren Körper übertragen, wobei der wärmere abkühlt und sich der kältere Körper erwärmt, bis beide die gleiche Mischtemperatur haben.

2. Bei der Wärmeströmung (Konvektion) erfolgt die Wärmeübertragung

durchströmende Flüssigkeiten und strömende Gase.

Beispiel: Warmwassertransport vom Heizkessel zum Heizkörper in der Wohnung

3. Bei der Wärmestrahlung wird die Wärme durch elektromagnetische Wellen (z.B. infrarote Strahlung) übertragen. Die Sonne ist die wichtigste Quelle für Wärmestrahlung.

13. Wirkungsgrad - Bestimmung:

In diesem Lerninhalt wird der Wirkungsgrad eines Esbitkochers bestimmt. Esbit liefert eine bestimmte Nutzenergie E_{Nutz} , die genutzt wird, um die Wärmeenergie des Wassers zu erhöhen. Bevor der Esbit aber die benötigte Nutzenergie liefert, muss chemische Energie aufgewendet werden E_{Auf} . Der Wirkungsgrad η eines Esbitkochers lässt sich demnach durch die Nutzenergie E_{Nutz} und die aufzuwendende Energie E_{Auf} berechnen.

14. Wirkungsgrad:

Der Lerninhalt erklärt, dass die Effizienz von Energiewandlungen und Energieübertragungen durch den Wirkungsgrad bestimmt wird. Der Wirkungsgrad setzt das Verhältnis der Nutzenergie E_{Nutz} zur zugeführten bzw. aufgewendeten Energie E_{Auf} ins Verhältnis.

15. Zustandsänderung von Gasen:

Bei Gasen können sich durch die Veränderung der Temperatur, sowohl der Druck als auch das Volumen verändern. Um diese Zusammenhänge zu beschreiben, wird das Modell des idealen Gases benutzt.

4.7.2 Technische Umsetzung

Für die Erstellung der Inhalte wird das weitverbreitete Präsentationsprogramm PowerPoint von Microsoft Office 2016 verwendet. PowerPoint bietet als Programm sämtliche Funktionen, die für das digitale Lehren und Lernen benötigt werden. Die Bedienung bzw. Übersicht ermöglichen einen schnellen und verständlichen Zugang. Aufgrund der verschiedenen gestalterischen Funktionen können alle Bestandteile, die für die Konzeption von Lernmodulen benötigt werden, in PowerPoint erstellt und somit auch durch das Programm individuell angepasst werden. Durch den Einsatz der verschiedenen Animationsmöglichkeiten können die Informationen in den Lernmodulen animiert werden und bauen sich dadurch Schritt für Schritt auf. Ebenso ist die Umwandlung der Inhalte in Lernvideos mit wenig Aufwand möglich. Durch die Verwendung des Plugins H5P können zudem interaktive Befragungen in die Videos eingebunden werden.

Die Entscheidung, dass Präsentationsprogramm PowerPoint zu benutzen, ist in der kontinuierlichen Weiterentwicklung dieser Anwendung durch den Technologiekonzern Microsoft begründet. Nach einer Studie der Harvard Universität bzgl. der besseren

Effektivität von zoomenden Interfaces wird das Präsentationsprogramm Prezi empfohlen (Moulton, 2017). Die Entscheidung für PowerPoint als Programm zur Erstellung der Inhalte bleibt trotzdem bestehen, da PowerPoint über ähnliche Übergangsanimationen zwischen den Folien verfügt.

4.7.3 Grafische Umsetzung

Um die Informationen benutzerfreundlich aufzubereiten, wurden die folgenden Gestaltungsprinzipien (vgl. Kapitel 2.4 und 2.5) berücksichtigt

4.7.3.1 Texte

Um zu gewährleisten, dass die, in den Inhalten verwendeten, Texte möglichst verständlich formuliert sind, wurde das von Langer, Schulz von Thun und Tausch (2006) entwickelte „Hamburger Verständlichkeitskonzept“ verwendet.

Nach diesem Konzept setzt sich die Verständlichkeit aus vier Merkmalen (1. Einfachheit, 2. Gliederung - Ordnung, 3. Kürze - Prägnanz und 4. anregende Zusätze) zusammen.

Im Rahmen der Verständnism Merkmale ist jedoch die Einfachheit, das wichtigste Merkmal des Konzepts (Rey, 2009). Um die Einfachheit der Texte zu gewährleisten, wurde deshalb mit geläufigen Wörtern gearbeitet und Fachausdrücke bzw. Fremdwörter (Bsp. Entropie, Stirlingmotor, Wärmekapazität usw.) erklärt. Wann immer es möglich war, wurden zu den Erklärungen auch Grafiken eingefügt, um zu gewährleisten, dass der Text konkret veranschaulicht werden kann. Bei der Gestaltung der jeweiligen Inhalte wurde also bewusst auf das Multimediaprinzip zurückgegriffen, um die Abrufbarkeit in das Arbeitsgedächtnis, durch Verwendung von zwei Codierungsarten (Text und Bild), zu erhöhen (Zumbach, 2010). Um eine entsprechende Gliederung - Ordnung und damit das zweite Merkmal zu gewährleisten, werden in den Lerninhalten die allgemein erklärenden Texte mit einem weißen Rand umgeben und erscheinen in den meisten Fällen, bevor eine bildliche Darstellung des Inhalts erscheint. Ziel ist, den „roten Faden“ für den Lernenden deutlich zu machen (innere Ordnung). Die äußere Ordnung wird dadurch erreicht, dass bei allen Inhalten, die Überschrift des jeweiligen Inhalts immer auf identischer Höhe oben links positioniert ist (Rey, 2009).

Das Merkmal der Kürze - Prägnanz wurde dadurch berücksichtigt, dass die Texte der Lerninhalte weder zu ausführlich bzw. zu lang noch zu kurz bzw. zu gedrängt sind. Um Überschneidungen (Interferenzen) bei den Lernenden zu vermeiden, wurde auf mehrfache Wiederholungen von bereits verständlichen Informationen in den Inhalten verzichtet, um die extrinsische kognitive Belastung nicht zu erhöhen, wodurch der Wissenserwerb behindert werden würde (Rey, 2009). Um das Verständnis der Texte und die Motivation beim Lesen zu fördern, wurde auch das vierte Merkmal der Verständlichkeit - anregende Zusätze

berücksichtigt. So ist bei den Beispielen auf eine möglichst interessante und abwechslungsreiche Darstellung zurückgegriffen worden (Rey, 2009).

Als Beispiele können hier 1. die Bestimmung des Wirkungsgrades, anhand eines Esbitkochers, der häufig beim Camping verwendet wird, 2. die Erklärung des Begriffs Entropie, anhand der Schaumrückbildung in der Badewanne oder 3. die Anomalie des Wassers, anhand von Temperaturveränderungen in einem Teich, genannt werden.

Da in der quasi-experimentellen Feldstudie sowohl der Experimental- als auch der Kontrollgruppe die gleichen Inhalte zur Verfügung gestellt werden, muss auf die Verwendung von Hyperlinks in den Inhalten verzichtet werden. Unabhängig davon, können die Lernenden durch Hyperlinks, aufgrund der nichtlinearen Strukturen der unterschiedlichen Seiten, im Textverständnis behindert werden, weshalb sie oft in digitalen Umgebungen nicht mehr berücksichtigt werden (Rey, 2009). In zukünftigen digitalen Lernumgebungen sollten also kurze Lerneinheiten mit einheitlicher Struktur implementiert werden.

4.7.3.2 Bilder

Für die digitale Wissensvermittlung haben auch Bilder neben den Texten eine zentrale Bedeutung. So können Bilder verschiedenartig unterteilt werden und sie können unterschiedliche Funktionen erfüllen. So können Pfeile oder andere farbige Hervorhebungen gezielt verwendet werden, um wesentliche Information darzustellen und somit eine lernförderliche Wirkung (vgl. Schnotz, 2005) zu begünstigen (Rey, 2009).

Im Rahmen der Integration von Text- und Bildelementen wurde bei der Entwicklung der Inhalte deshalb darauf geachtet, dass die Trennung von aufeinander bezogenen Informationsquellen unterbunden wird, um den Effekt der geteilten Aufmerksamkeit bzw. den Split-Attention Effekt, der die Lernleistung reduzieren würde, zu verhindern (Rey, 2009). So sind die vorhandenen Beschriftungen immer in unmittelbarer Nähe zum relevanten Bildelement platziert worden (Bsp. Stirlingmotor). Unabhängig von der Berücksichtigung verschiedener Gestaltungsempfehlungen ist zu erwähnen, dass der Effekt der geteilten Aufmerksamkeit bei digitalen Lernumgebungen nur dann in Erscheinung tritt, wenn eine hohe Elementinteraktivität vorhanden ist. In einigen Untersuchungen (Craig, Gholson und Driscoll 2002 und De Westelinck et al. 2005) hingegen wurde der Effekt nicht nachgewiesen bzw. widersprach sich komplett (Rey, 2009).

Im Rahmen der Gestaltung von Inhalten muss auch entschieden werden, ob ein Bild vor oder nach dem Text eingefügt wird, da in manchen Situationen Text und Bild nicht immer integriert werden können. Nach dem Bild-Text Reihenfolgeprinzip von Schnotz (2005) geht man davon aus, dass Bilder vor der korrespondierenden Textpassage eingefügt werden sollen (Rey, 2009). Im Lernmodul war es, aufgrund der Größe und der Komplexität der Bilder, nur bei wenigen der gestalteten Inhalte (Anomalie des Wassers, Entropie in der

Badewanne und Wirkungsgrad - Bestimmung) möglich, das Bild vor der erklärenden Textbeschreibung zu platzieren. Des Weiteren wurde bei der Gestaltung der Inhalte auf ästhetisch ansprechende Bilder geachtet. Als Beispiele können die Bilder zur Anomalie des Wassers und des Wirkungsgrades genannt werden (vgl. Kapitel 4.7.3.3; Abb. 4 und 5).

4.7.3.3 Animationen

Bei einer Animation handelt es sich um eine dynamische Bilderfolge, bei der das einzelne Bild als Veränderung des vorangegangenen erscheint (Rey, 2009).

Vorteil der Animation ist, dass multiple Repräsentationen kombiniert werden können. Bei der Gestaltung der Animationen wurde das Segmentierungsprinzip bzw. Schrittsteuerungsprinzip berücksichtigt. Durch dieses Prinzip wird eine lernförderliche Wirkung erzielt, in dem das zu vermittelnde Wissen in lerngerechte Abschnitte untergliedert wird (Rey, 2009). Der Lernende kann die Lerninhalte, Schritt für Schritt durch das Betätigen der Maus weiter aufbauen.

Dieser positive Effekt wird innerhalb der Cognitive-Affective Theory of Learning with Media (CATLM) beschrieben (Rey, 2009). Die Möglichkeit zur Unterbrechung der dargestellten Informationen durch die Lernenden empfiehlt das Interaktivitätsprinzip (vgl. Kapitel 2.5). Es führt zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses und die Wiederholfunktion erlaubt ein individuelles Üben und Festigen des Unterrichtsstoffs und damit zu besseren Behaltensleistungen. Um die Auffassungen der Theorie von Spiro (vgl. Kapitel 2.5.5) zu berücksichtigen, werden die Animationen lern- und inhaltsorientiert im Lernmodul dargestellt. So wurde bei der Gestaltung der Animationen das Segmentierungsprinzip bzw. Schrittsteuerungsprinzip und das Interaktivitätsprinzip (vgl. Kapitel 2.5) angewendet, um die Lernenden nicht zu überfordern, wenn zu viele Informationen, zu schnell dargeboten werden. Beim Lernen mit Animationen sollte den Lernenden ausreichend Zeit zur Verfügung stehen, sodass sie die Lerninhalte besser verstehen, weil eine kognitive Überlastung des Arbeitsgedächtnis vermieden wird (Rey, 2009). Beispielhaft werden nachfolgend drei Grafiken aus den Animationen des Lernmoduls vorgestellt.

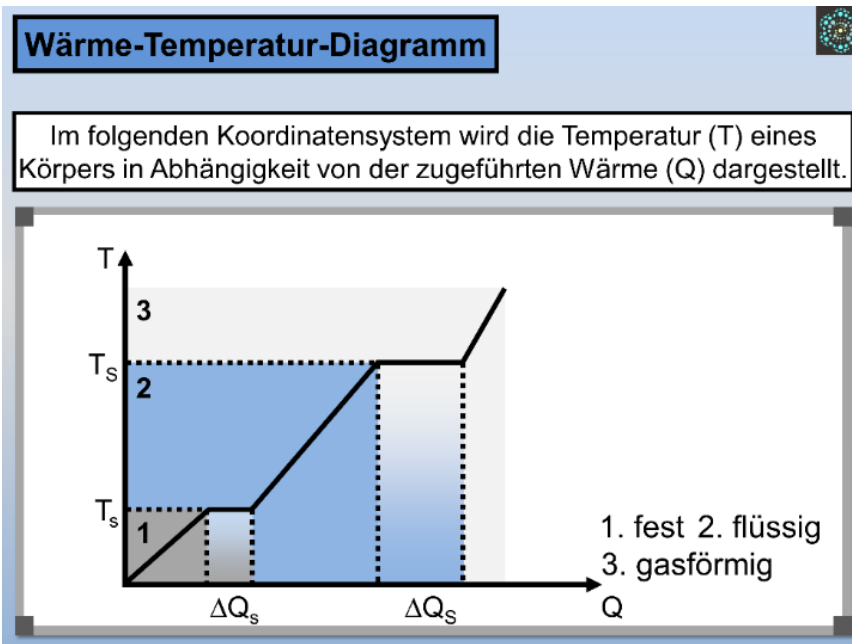


Abb. 3: Wärme-Temperatur-Diagramm, eigene Darstellung

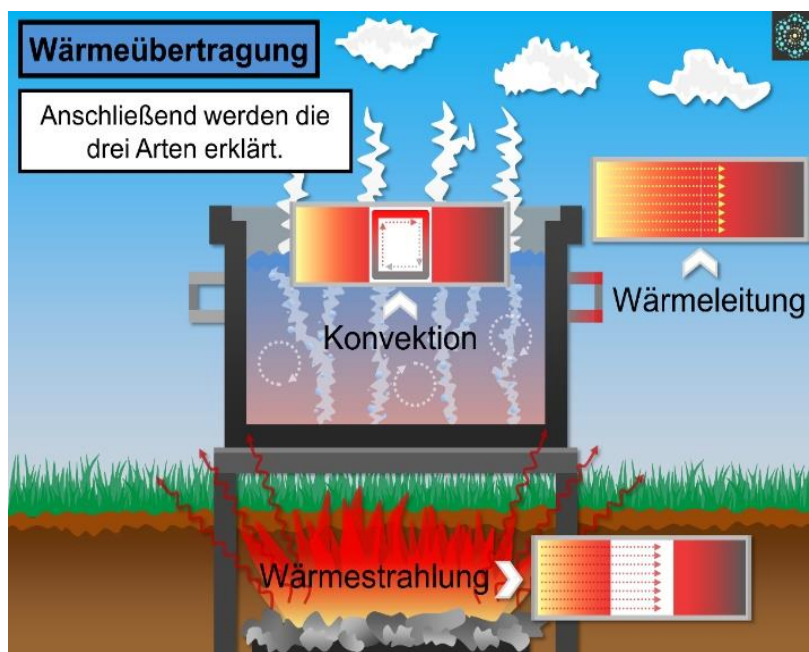


Abb. 4: Wärmeübertragung, eigene Darstellung

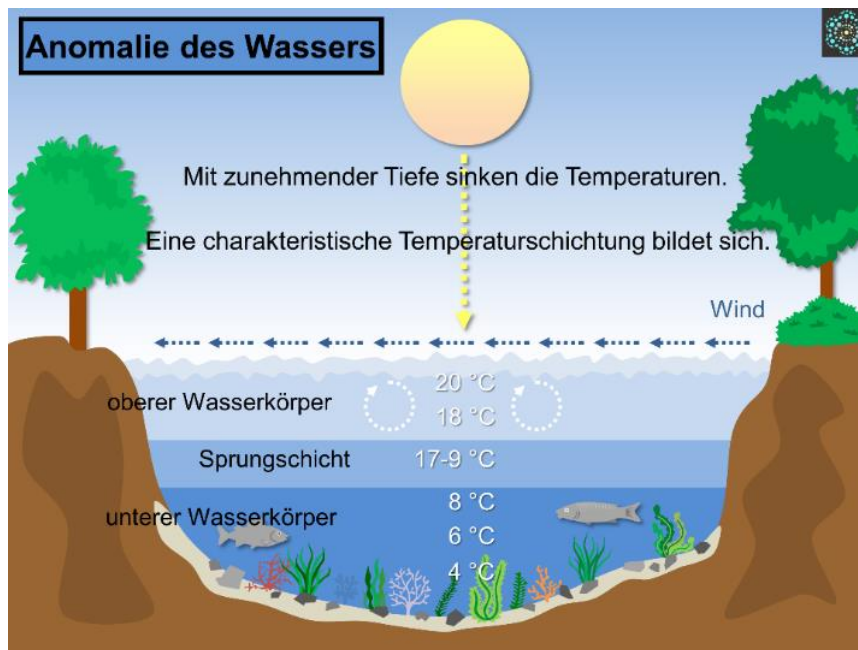


Abb. 5: Anomalie des Wassers, eigene Darstellung

Alle entwickelten Lerninhalte des Lernmoduls befinden sich in Anhang G.

Neben der ansprechenden Gestaltung des Lernmoduls sind auch die Textaufgaben nach denselben Prinzipien zu gestalten, um die Aufmerksamkeit der Lernenden nicht zu verlieren.

4.7.3.4 Textaufgaben

Mithilfe der Aufgaben soll der Lerntransfer gefördert werden, indem themarelevante Problemstellungen aus der Praxis in die Lernsituation integriert werden (Kerres, 2018). Für das Lernmodul stehen 20 Multiple-Choice-Aufgaben zur Verfügung. Sie sind mit einem einführenden Text versehen, der eine Alltagssituation schildert. Damit soll das theoretische Wissen mit praktisch anwendbarem Wissen verbunden werden.

Die Lernenden wählen aus den Lösungsvorschlägen eine Lösung aus.

Nachfolgend werden beispielhaft drei Problemaufgaben aufgeführt.

1) Auf dem Tisch stehen zwei Gläser mit 0,2 l Leitungswasser der Temperatur 10 °C und 20 °C. Das Wasser aus beiden Gläsern wird nun schnell zusammen in eine große Schale geschüttet. Wie groß ist die Temperatur der Mischung in der Schale direkt nach dem Mischen etwa?

A 10 °C
 B 15 °C
 C 20 °C
 D 30 °C

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

Abb. 6: Aufgabe 1 - TCI-Pretest - und TCI-Posttest, eigene Darstellung

4.7.4 Mediendidaktisches Konzept

Das Medienkonzept basiert auf dem Lernumgebungskonzept, beim dem die Lehrenden für die Lernenden eine Lernumgebung mit Medien gestalten, die das eigenständige Lernen unterstützt (Tulodziecki & Herzig 2004). In dieser Lernumgebung haben die Medien die Rolle eines Wissensvermittlers, um Informationen auszuwählen, und das Problemlösen begleitend zu unterstützen. Als Informationsmedien werden im Lernmodul 2D-Animationen eingesetzt. Dabei wurden die Gestaltungsprinzipien und die Erkenntnisse der Theorien zum multimedialen Lernen in Bezug auf die optimale Auslastung des Arbeitsgedächtnis berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.5 und 2.6). In Empirischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Lernen mit Animationen lernförderlicher für den Wissenserwerb ist als die Nutzung von Texten allein (Mayer, 2001). Indem multiple Repräsentationen (Text, Bild, Diagramme, Formeln) gemeinsam innerhalb der Animation verwendet werden, können sich diese ergänzen und so den Lernprozess unterstützen, in dem ein tieferes Verständnis für die Lerninhalte erreicht wird (Spiro & Jehng, 1990). Die Lernenden können durch die zusammenhängende Darstellung flexibel lernen und ihre individuelle mentale Repräsentation konstruieren (Scheid, 2013). Um alle Lernenden gleichermaßen zum Lernen mit Animationen zu motivieren, wird das Lernmodul so gestaltet, dass die Lernpräferenzen (Übungen, Beispiele, Texte) nach der Lernstilypentheorie von D. Kolb berücksichtigt werden. Durch die Ermittlung des Lernstiltyps bekommt der Lehrende einen Überblick, welche Lernstiltypen in der Lerngruppe tatsächlich vorkommen und welche Anpassungsmöglichkeiten seiner eigenen Lernumgebung daraus folgen (Haman, 2007).

Ziel ist, nach dem Treatment zu untersuchen, ob alle Lernenden gleichermaßen vom Lernen mit den Animationen profitiert haben. Das selbstgesteuerte Handeln wird beim Lernen mit Animationen unterstützt durch die Interaktivität, als eine Eigenschaft digitaler Medien. So haben die Lernenden Eingriff- und Steuermöglichkeiten. Sie können zwischen den 15 Lerninhalten frei navigieren, innerhalb der Lerninhalte, wesentliche Teile markieren, ändern, hinzufügen oder löschen und die Lerninhalte beliebig oft betrachten. Die Interaktivität ermöglicht ein aktives Ausprobieren, wodurch die Aufmerksamkeit auf die Auseinandersetzung mit den Lerninhalten gelenkt wird (Zumbach, 2010).

Das Ziel ist, dass die Lernenden aktiv werden, sich ausdauernder mit Themen beschäftigen, ihr Wissen selbst konstruieren und eine individuelle mentale Repräsentation aufbauen. Durch das Autonomie- und Kompetenzerleben werden sie motiviert, ihr Wissen anzuwenden, um die Problemaufgaben zu lösen.

Um die Lernumgebung in alltäglichen Unterrichtsbedingungen in ihrer Komplexität besser untersuchen zu können, wird das prozessorientierte Forschungsdesign „Design-Based-Research“ gewählt. So wird es durch das zyklische Vorgehen möglich, Entwicklungen und Ergebnisse früherer Studien einzubinden (Wilhelm, 2014).

5 Forschungsdesign „Design-Based-Research“

In diesem Kapitel wird die Umsetzung des „Design-Based-Research“ Forschungsdesigns vorgestellt, um die verschiedenen Aspekte mit ihren Wechselbeziehungen innerhalb des komplexen Lernprozesses zu untersuchen. Aufgrund der gewonnenen theoretischen Erkenntnisse (vgl. Kapitel 2.6.1, 2.8 & 2.9) werden sechs offene Forschungsfragen abgeleitet, um die zentrale Frage dieser Arbeit beantworten zu können, Es ist nach dem DBR-Ansatz notwendig, die Forschungsfragen offen zu formulieren, um eine unvoreingenommene Forschungsperspektive auf die Lernaktivitäten der einzelnen Lerner zu garantieren (Kohnen, 2012).

5.1 Der Ablauf des DBR

Der DBR-Ansatz versucht durch einen zyklischen Prozess, der aus Gestaltung, Durchführung, Überprüfung und Re-Design besteht, die Aspekte der Lernumgebung, der Lernsituation und der Lernaktivitäten zu erfassen. Aufgrund der Vielfältigkeit des DBR-Ansatzes war es notwendig, die folgende Ablaufskizze für das Forschungsvorhaben zu erstellen:

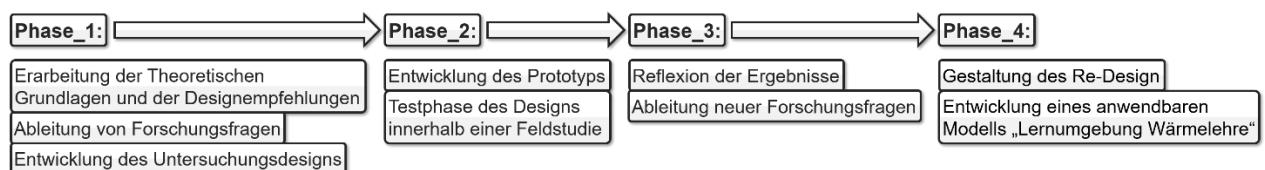


Abb. 9: Ablaufskizze des Forschungsvorhabens, eigene Darstellung

Vorteil dieses Forschungsansatzes ist, dass nicht nur das Design der gestalteten Lernumgebung angepasst werden kann, sondern auch Untersuchungsziele überdacht und verändert werden können (Reinmann, 2005).

In den vorangegangenen Kapiteln wurde dargestellt, dass der Lernprozess für jeden Lernenden ein individuell verschiedener Prozess ist, der das Anbieten von unterschiedlichen Lernmaterialien, Lernsituationen und Lernaktivitäten notwendig macht, um das Transferproblem zu lösen. Aus diesem Grund wurde auf der Basis der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit eine integrierte Lernumgebung „Wärmelehre“ entwickelt. Es soll untersucht werden, ob die Lernenden durch das selbstgesteuerte Lernen mit Unterstützung der bereitgestellten, digitalen Arbeitsmittel (Lerninhalte) besser in der Lage sind, problemhaltigen Textaufgaben zu lösen als die Lernenden, die durch analoge Arbeitsmittel unterstützt werden. Zur Beantwortung der zentralen Fragestellung dieser Arbeit wurden die folgenden Forschungsfragen abgeleitet.

5.2 Forschungsfragen

Um die Wirksamkeit der gestalteten Lernumgebung innerhalb des DBR-Forschungsansatzes detailliert zu untersuchen, wird die zentrale Fragestellung, aufgrund der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit, in die folgenden sechs offenen Forschungsfragen aufgegliedert:

1. Welchen Einfluss haben die individuellen Lernvoraussetzungen auf das Lernen in einer integrierten Lernumgebung?
2. Wie kann der Lernerfolg beim Lösen von problemhaltigen Textaufgaben in der digitalen Lernumgebung gesteigert werden?
3. Welchen Handlungsspielraum können die Lernenden in der digitalen Lernumgebung während des Lernprozesses wahrnehmen?
4. Welchen Einfluss haben die Aspekte der Selbstregulation während des Lernprozesses untereinander und auf den Lernerfolg?
5. Welchen Einfluss hat die Mediengestaltung auf den Lernerfolg?
6. Wie kann eine Lernumgebung mit digitalen Medien so konzipiert werden, dass sie individuelle Unterschiede im Lernverhalten der Lernenden berücksichtigt?

Mit der 1. Frage sollen die Wechselbeziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen (Medienwissen, Motivation, metakognitive Lernstrategien (Planvolles Handeln, Eigeninitiative), Selbstwirksamkeit, Grad der erlebten Selbststeuerung) untersucht werden. Es wird angenommen, dass die individuellen Lernvoraussetzungen einen Einfluss auf den Lernerfolg haben (Girwidz, 2006).

Die 2. Frage soll den Lernerfolg beim Lösen von problemhaltigen Textaufgaben mit und ohne Unterstützung von digitalen Lernmaterialien untersuchen. Es wird angenommen, dass die Lernenden der Experimentalgruppen (digitale Lernmedien) eine größere Anzahl von Textaufgaben in den Wissenstests lösen als die Kontrollgruppen (analog).

Mit der 3. Frage soll das Personenmerkmal „Grad der erlebten Selbststeuerung“ untersucht werden. Hier wird angenommen, dass die Lernenden der Experimentalgruppen einen größeren Handlungsspielraum erleben, das heißt autonom ihren Lernweg organisieren können und ihre eigene Kompetenz erfahren.

Die 4. Frage soll die Selbstregulation der Lernenden untersuchen. Es wird angenommen, dass das Lernverhalten während des Lernprozesses einen Einfluss auf den Lernerfolg in Selbstlernphasen hat. Mit der 5. Frage soll die Mediengestaltung mithilfe von zwei Variablen (Benutzerfreundlichkeit; Nützlichkeit) bewertet werden. Es wird angenommen, dass die beiden Aspekte sich wechselseitig beeinflussen und einen Einfluss auf den Lernerfolg haben.

Die 6. Frage untersucht auf Basis des Lernstiltests nach David Kolb, ob individuelle Unterschiede im Lernerfolg trotz gleicher Kontextbedingungen in der integrierten Lernumgebung feststellbar sind (Skehan, 1989). Es wird angenommen, dass durch das Lernen mit digitalen Lernmedien alle Lernstiltypen gleichermaßen von der Lernumgebung profitieren.

5.3 Untersuchungsdesign der quasi-experimentellen Feldstudie

Aus den theoretischen Erkenntnissen dieser Arbeit ableitend, wird eine integrierte Lernumgebung als Basis des Unterrichts gestaltet (vgl. Kapitel 3.3), in der die Lernenden die Möglichkeit haben, sich selbständig mit dem Thema „Wärmelehre“ zu beschäftigen.

Die Lernenden werden aktiv, organisieren ihren Lernweg, erwerben neues Wissen und abstrahieren dieses, um es beim Lösen von problemorientierten Textaufgaben anzuwenden. Ziel ist, dass die Lernenden ihre Kompetenzen zum Thema „Wärmelehre“ selbständig überprüfen, erweitern und sie so auf andere Problemstellungen übertragen können.

Die Lernumgebung besteht aus drei Komponenten (vgl. Kapitel 3.3) nach Leuders und Ulm (2007), den Textaufgaben und ihre Trägermedien (analoges Aufgabenmodul), der Organisationsform des Lernens (Selbstlernphase) und den Unterstützungsangeboten durch verfügbare digitale Lernmaterialien (CBT) (Haug, 2011).

Die Komponenten werden in der Lernumgebung „Wärmelehre“ wie folgt umgesetzt:

1. Die Aktivierung der Lernenden erfolgt nach der Methode „Lernen mit Fällen“ in Form von problemorientierten Textaufgaben im Multiple Choice Format.
Durch das Lernen an realistischen Problemen soll den Lernenden der Anwendungskontext klar werden und sie sollen verstehen, dass Wissen nicht nur auf einen Kontext bezogen, sondern auf neue Problemstellungen übertragen werden kann (Kauffeld, 2011)
2. Die Organisationsform ist das selbstgesteuerte Lernen innerhalb einer organisierten Unterrichtsstruktur. Durch diese Lernform sollen die Lernenden ihr erworbenes Wissen abstrahieren, um es so auf andere Problemstellungen übertragen zu können.
3. Als Unterstützungsangebot wird den Lernenden ein, in Eigenproduktion hergestelltes, digitales Lernmodul zur Verfügung gestellt. Die Lernenden können aus dem Unterstützungsangebot, das aus 15 Lerninhalten besteht, individuell das Wissen erwerben, welches sie zur Lösung der Textaufgaben benötigen.

Die Lerninhalte des Lernmoduls wurden inhaltlich so aufgebaut, dass den Lernenden unterschiedliche externe Repräsentationen als kognitive Werkzeuge zum Lösen der Problemaufgaben zur Verfügung stehen.

Ziel ist, dass die Lernenden individuell ein mentales Modell der Problemsituation konstruieren, welches sie dann als Problemlösehilfe nutzen können. Dieses mentale Modell wird vom Vorwissen, den individuellen Lernvoraussetzungen (mediales Wissen, metakognitiven Lernstrategien, Motivation, Selbstwirksamkeit, Grad der erlebten Selbststeuerung) und dem Lernstil (Kolb, 1984) beeinflusst, deshalb wurden die drei Aspekte durch eine schriftliche Befragung (Medien 1) am 1. Messzeitpunkt erfasst. Gestaltet wurde das Lernmodul unter Berücksichtigung der Gestaltungsprinzipien nach lerntheoretischen Ansätzen (vgl. Kapitel 2.3), der lernpsychologischen Theorien zum multimedialen Lernen (vgl. Kapitel 2.4), der Gestaltungsprinzipien für digitalen Lernmedien (vgl. Kapitel 2.5 und 2.6) und der psychologischen Voraussetzungen des Lernens mit digitalen Medien (vgl. Kapitel 2.8). Die Lernform in der Lernumgebung war das selbstgesteuerte Lernen in Einzelarbeit. Aus diesem Grund stand jedem Lernenden im Unterricht ein Tablet-PC zur Verfügung. Die gestalteten Lernmedien für die integrierte Lernumgebung basieren auf dem Lernumgebungskonzept (Tulodziecki, 2010), um das selbstgesteuerte Lernen zu fördern. Dieses mediendidaktische Konzept verfolgt nach dem konstruktivistischen Ansatz eine aktive Rolle der Lernenden bei der Auseinandersetzung mit den Lerninhalten. Der Lehrende hat nach dieser Konzeption die Aufgabe, eine handlungsorientierte Lernumgebung zu gestalten, die von einer bedeutsamen Aufgabenstellung ausgeht und eigenständiges Ausprobieren und Lernen unterstützt. Vor Beginn der Lernphase wurde den Lernenden das gestaltete Lernmodul „Wärmelehre“ vorgestellt. Zum besseren Verständnis wurde den Lernenden eine Testphase eingeräumt, in der auch Fragen zur Bedienung beantwortet wurden. Die Selbstlernphase (2. Messzeitpunkt) wurde auf 90 min festgelegt, dass die Lernenden genügend Zeit zum Lösen der Aufgaben haben und dass die Lernumgebung auch problemlos im alltäglichen Physikunterricht eingesetzt werden kann. Während der Selbstlernphase bearbeiteten alle Lernenden 20 problembasierte Textaufgaben, um vergleichbare Daten zu gewinnen. Die richtig gelösten Aufgaben wurden mithilfe eines Wissenstests (TCI-Pretest) erfasst. In den nächsten zwei Wochen lernten die Lerngruppen mit den jeweiligen Lernmedium (digital/analog). Nach diesem Zeitraum wurde ein 2. Wissenstest (TCI-Posttest) durchgeführt. Die Lernenden sollten in einer Selbstlernphase (3. Messzeitpunkt) den Wissenstest wiederholen und die gleichen 20 problembasierten Textaufgaben lösen, diesmal aber ohne mediale Unterstützung. An diesem 3. Messzeitpunkt fand ebenfalls eine schriftliche Befragung (Medien 2) der Lernenden zur Mediengestaltung, zu metakognitiven Strategien und zum Grad der erlebten Selbststeuerung statt, um die Wahrnehmungen der Lernenden zu erfassen und den Einfluss auf die Leistungsentwicklung zu untersuchen. Die Datenerhebung erfolgte vor und nach der Interventionsphase. Die Maßnahme (Vergleich zweier Medienformate beim selbstgesteuerten Lernen in einer integrierten Lernumgebung)

als unabhängige Variable weist zwei Stufen aus (Experimental- und Kontrollgruppe). Die Wirkung der Maßnahme (Förderung der Problemlöse- und Selbststeuerungskompetenzen) als abhängige Variable wurde, aufgrund der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit, mithilfe von zwei Wirkkriterien gemessen. Das 1. Kriterium ist der „Lernerfolg“. Dieses Kriterium wird durch Wissenstests gemessen. Ziel ist, die Entwicklung der Problemlösekompetenzen zu zeigen. Das 2. Kriterium ist der „Grad der erlebten Selbststeuerung“. Dieses Kriterium wird durch schriftliche Befragungen erfasst. Ziel ist, die Entwicklung der Selbststeuerungskompetenzen zu untersuchen.

Wie Untersuchungen (vgl. Kapitel 2.6.1, 2.7, 2.8) zeigen, wird die abhängige Variable durch mehrere Faktoren beeinflusst. Folgende Faktoren werden deshalb mithilfe zweier schriftlicher Befragungen erfasst: 1. Lernmotivation, 2. Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien, 3. Selbstwirksamkeit, 4. Planvolles Handeln, 5. Eigeninitiative, 6. Benutzerfreundlichkeit, 7. Nützlichkeit des digitalen Mediums als Arbeitsmittel, 8. Ausdauer, 9. Umgang mit Fehlern, 10. Lernzielkontrolle.

Um die Lernenden individueller fördern zu können, wird der Lernstiltyp mithilfe eines Lernstiltests ermittelt. Ziel ist, die Anpassung der Lernumgebung durch den Lehrenden.

5.4 Stichproben

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Lernumgebung zu gestalten, durch die die Problemlösekompetenzen und die Selbststeuerungskompetenzen gefördert werden können (vgl. Kapitel 4.2). Da die gestaltete Lernumgebung bei Lernenden mit den unterschiedlichsten Lernvoraussetzungen eingesetzt werden soll, nahmen an der Studie jeweils zwei Klassen aus einer Integrierten Gesamtschule und einem Gymnasium teil. Um Effekte und Wechselbeziehungen aber auch Unterschiede im Lernverhalten erfassen zu können, werden sie als Stichprobe 1 (IGS) und Stichprobe 2 (Gymnasium) untersucht und dargestellt.

Tab. 1: Gesamtübersicht der Studie

Zeitpunkt	Handlungsfeld	Ziel	Stichprobe
dreimalig	Schule/IGS	Effekte/Wechselbeziehungen	23
dreimalig	Schule/Gymnasium	Effekte/Wechselbeziehungen	45

5.4.1 Stichprobenbeschreibung - Integrierte Gesamtschule

An der Studie, die im Dezember 2016 und Januar 2017 durchgeführt wurde, nahmen 32 Schülerinnen und Schüler einer Integrierten Gesamtschule teil (N = 32, Jungen = 17, Mädchen = 15). Die Befragten waren zwischen 15 und 16 Jahre alt und besuchten zwei parallele 10. Klassen. Die Tabelle 2 zeigt die Zusammensetzung der Klassen und die Anzahl der Lernenden, die zu allen Messzeitpunkten anwesend waren.

Leider fielen krankheitsbedingt 9 Schüler/innen zu einzelnen Messzeitpunkten aus, wodurch die Gesamtstichprobe unter 30 Teilnehmer sank, was eine veränderte statistische Auswertung nach sich zog.

Tab. 2: Stichprobenbeschreibungen - Integrierte Gesamtschule

	Anzahl Lernende	männlich	weiblich	Zu allen MZP anwesend
Kontrollgruppe	17	6	11	11
Experimentalgruppe	15	11	4	12

Eine Randomisierung konnte aus schulorganisatorischen Gründen in der IGS nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde per Losverfahren die eine Klasse der Experimental- und die andere Klasse der Kontrollgruppe zugeordnet. Somit wurden zwei Schulklassen (natürliche Gruppen) verglichen. Die Experimentalgruppe lernte mit dem digitalen Lernmodul und die Kontrollgruppe mit dem inhaltlich gleich aufgebauten Lernmodul in Papierform. Dem unterrichtenden Physiklehrer der beiden Klassen wurde innerhalb zweier Vortermine, das Lernmodul vorgestellt und der Untersuchungsablauf besprochen. Der unterrichtende Physiklehrer führte die Untersuchung in beiden Klassen durch. Der Autor der Studie war während der gesamten Untersuchung anwesend.

5.4.2 Stichprobenbeschreibung - Gymnasium

An der 2. Untersuchung, die im Mai 2017 und Juni 2017 durchgeführt wurde, nahmen 49 Schülerinnen und Schüler eines Gymnasiums in Rheinland-Pfalz teil (N=49, Jungen=28, Mädchen=21). Die Befragten waren zwischen 15 und 16 Jahre alt und besuchten zwei parallele 10. Klassen. Die Stichproben haben unterschiedliche Größen (N1=24 und N2=25). Die Tabelle 3 zeigt die Zusammensetzung der Klassen und die Anzahl der Lernenden, die zu allen Messzeitpunkten anwesend waren. Leider fehlten auch hier 9 Schüler/innen an einzelnen Messzeitpunkten, so dass die Gesamtstichprobe von 54 auf 45 Teilnehmer sank.

Tab. 3: Stichprobenbeschreibungen Untersuchung 2 - Gymnasium

	Anzahl Lernende	männlich	weiblich	Zu allen MZP anwesend
Kontrollgruppe	29	18	11	23
Experimentalgruppe	25	15	10	22

5.5 Ablauf der Studie

Die Abbildung 10 zeigt den Untersuchungsablauf der quasi-experimentellen Feldstudie. Die Untersuchung gliedert sich in vier Teile, die sich über drei Messzeitpunkte und einen Interventionszeitraum erstrecken.

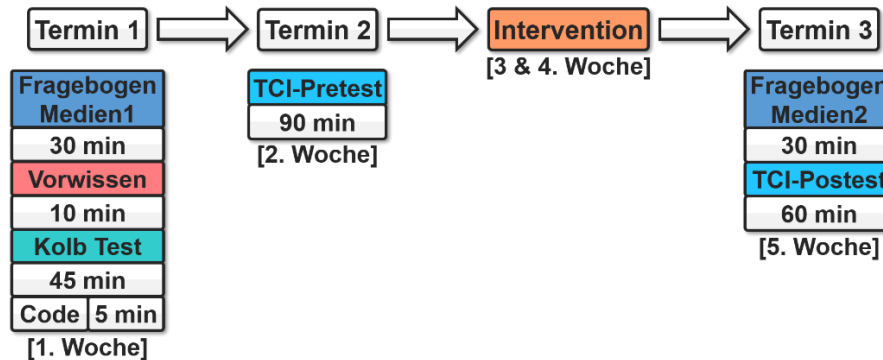


Abb. 10: Untersuchungsablauf (1. Zyklus), eigene Darstellung

Vor beiden Untersuchungen fanden jeweils zwei Vortermine mit den unterrichtenden Physiklehrern und den teilnehmenden Klassen statt. Zuerst wurde den unterrichtenden Lehrern das Gesamtkonzept der Studie vorgestellt. Am 2. Vortermin wurde den Lehrern das gestaltete Selbstlernmodul vorgestellt. Ebenfalls wurde der zeitliche und organisatorische Ablauf der Untersuchung besprochen. Auch mit den teilnehmenden Klassen wurde das inhaltliche und organisatorische Vorgehen innerhalb zweier Vortermine besprochen.

Am 1. Vortermin stellte sich der Autor der Untersuchung vor. Er erläuterte das Untersuchungsvorhaben und beantwortete Fragen der Lernenden. Die meisten Fragen wurden zum Lernstilttest gestellt. Der Autor der Untersuchung erklärte den Lernenden, dass es nicht um eine Bewertung ihres Lernens geht, sondern, dass es durch die Erfassung ihres individuellen Lernstils möglich wird, ihre unterschiedlichen Lernpräferenzen bei der Gestaltung der Lernumgebung zu berücksichtigen bzw. es möglich wird, die Lernumgebung anzupassen. Die Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie wurde den Lernenden zwecks Unterzeichnung der Erziehungsberechtigten übergeben.

Am 2. Vortermin lagen zur Überraschung der unterrichtenden Lehrer beider Untersuchungen alle Einverständniserklärungen vor. So konnten bei diesem Termin alle Lernenden den Umgang mit den Tablets erproben. Danach stellte der Autor der Untersuchung das Selbstlernmodul vor und die Lernenden hatten die Möglichkeit es auszuprobieren.

5.6 Zeitlicher Ablauf

In diesem Kapitel werden die einzelnen Phasen der quasi-experimentellen Feldstudie in zeitlicher Reihenfolge dargestellt.

1. Vorbereitungsphase: Am 1. Vortermine mit den Lehrern wurden die inhaltlichen Schwerpunkte laut Lehrplan Physik für die weiterführenden Schulen der Klassenstufen 7 bis 9/10 in Rheinland-Pfalz zu den Themengebieten „Thermische Ausdehnung im Experiment und Modell“ sowie „Wärmetransporte und ihre Beeinflussung“ besprochen und das gestaltete Lernmodul vorgestellt.

Am 2. Vortermine mit den Lehrern wurde der organisatorische und zeitliche Ablauf der Studie besprochen bzw. an die schulischen Anforderungen angepasst und offene Fragen wurden geklärt.

Am 1. Vortermine mit den Lernenden hat sich der Autor der Untersuchung vorgestellt und das Untersuchungsvorhaben und den Ablauf erläutert. Am 2. Vortermine mit den Lernenden wurde das Selbstlernmodul präsentiert und der Umgang mit den Tablets erklärt. Die Lernenden konnten das Selbstlernmodul ausprobieren und Fragen zur Benutzung stellen.

2. Einführungsphase: Am 1. Messzeitpunkt wurde den Lernenden der Ablauf der Studie vom unterrichtenden Lehrer nochmals erläutert und offene Fragen wurden beantwortet. Um die Antworten der Lernenden anonym erfassen und vergleichen zu können, wurde für jeden Lernenden ein individueller Code erstellt. Dann wurde das Vorwissen mithilfe eines Tests, die individuellen Lernvoraussetzungen (Personenmerkmale) und der Handlungsspielraum (Grad der Selbststeuerung) mithilfe eines Fragebogens (Medien 1) und der Lernstiltyp, mithilfe des Lernstilttest nach Kolb erfasst (vgl. Kapitel 5.7). Den Lernenden standen für die Bearbeitung des Vorwissenstests, der schriftlichen Befragung und des Lernstilttests jeweils 20 Minuten zur Verfügung.

3. Bearbeitungsphase (Selbstgesteuertes Lernen): Der Lehrende, als Testleiter, stellte das Thema, die Zielvereinbarung, die organisatorische Struktur der Unterrichtsstunde innerhalb eines Unterrichtsgesprächs vor.

Die Lernenden konnten Fragen zur Vorgehensweise stellen. Der Umgang mit dem jeweiligen Lernmodul wurde vom Lehrenden nochmals erläutert. Die Lernenden der Experimentalgruppe, die mit dem Tablet lernen sollten, bekamen eine praktische Nutzungseinweisung. Während der Bearbeitungsphase erfolgte durch den Lehrenden eine individuelle Begleitung bei offenen Fragen.

3.1 Erste Doppelstunde: Die Lernenden der Experimental- bzw. Kontrollgruppe lernten in ihrem jeweiligen Klassenraum. Zu Beginn der Unterrichtsstunde wurde jedem Lernenden der Experimentalgruppe ein Tablet mit dem integrierten Selbstlernmodul übergeben. Die Lernenden der Kontrollgruppe erhielten die Lerninhalte des Selbstlernmoduls in Papierform. Anschließend begannen die Lernenden in Einzelarbeit das Aufgabenmodul in Papierform, das aus 20 problemhaltigen Textaufgaben bestand, zu bearbeiten. Die Lernenden konnten die Aufgaben nach ihrem individuellen Lernweg lösen. Zur fachlichen Unterstützung stand ihnen das Lernmodul (analog/digital) zur Verfügung. Das Ziel war, in 90 Minuten die Problemaufgaben zu lösen.

3.2 Interventionszeitraum: Während des vierzehntägigen Interventionszeitraums beschäftigten sich die Klassen mit den fachlichen Inhalten des Lernmoduls. So lernte die Experimentalgruppe mit dem digitalen Lernmodul und die Kontrollgruppe mit dem analogen Lernmodul in Papierform.

3.3 Zweite Doppelstunde: Während eines Nachtests sollten die Lernenden beider Klassen, selbstgesteuert und ohne fachliche Unterstützung durch das Selbstlernmodul, dieselben 20 problemhaltigen Textaufgaben lösen. Für den Test standen den Lernenden 60 Minuten zur Verfügung. In den verbleibenden 30 min hatten die Lernenden die Aufgabe, die Mediengestaltung, ihre metakognitiven Strategien und ihren Grad der erlebten Selbststeuerung innerhalb einer schriftlichen Befragung (Schülerfragebogen - Medien 2) zu bewerten. Der Test und die schriftliche Befragung fanden ebenfalls in ihrem gewohnten Klassenraum statt.

4. Reflexionsphase: Die unterrichtenden Lehrer besprachen die Lösungen der Wissenstests mit den Lernenden. Ebenfalls wurden die Ergebnisse des Lernstiltests und der schriftlichen Befragungen vom Autor der Untersuchung vorgestellt. In einer offenen Diskussionsrunde konnten die Lernenden, den unterrichtenden Lehrern und dem Autor der Untersuchung, ihre Erfahrungen während des selbständigen Lernens in der Lernumgebung mitteilen. Besonders wichtig für die Lernenden war zu erfahren, welchem Lernstiltyp sie zugeordnet werden können und in welcher Form, die unterrichtenden Lehrer die Lernstiltypen zukünftig im Unterricht berücksichtigen werden. Für die unterrichtenden Lehrer war interessant zu erfahren, welchem Lernstil sie selbst angehören und wie sie zukünftig die unterschiedlichen Lernstile bei der Gestaltung des Unterrichts berücksichtigen können. Aus diesem Grund wurde ein Nachbesprechungstermin mit den Lehrern vereinbart. Bei dieser Besprechung wurden vom Autor der Untersuchung die ersten Ergebnisse der Studie vorgestellt. Ebenfalls wurde mit den unterrichtenden Lehrern über Verbesserungsvorschläge

zur Weiterentwicklung des Selbstlernmoduls diskutiert. Diese wurden, neben den Ergebnissen der Untersuchung, bei der Entwicklung des Re-Designs berücksichtigt.

5.7 Erhebungsinstrumente

Wie im Untersuchungsdesign bereits erläutert, soll durch die Textaufgabentests die Kompetenzentwicklung zum Thema „Wärmelehre“ zwischen den Lerngruppen vor und nach der Intervention verglichen werden. Um die Wahrnehmungen und Einstellungen der Lernenden vor und nach dem selbstgesteuerten Lernen zu erfassen, wurden zwei schriftliche Befragungen durchgeführt. In der 1. Befragung wurden die individuellen Lernvoraussetzungen (Medien 1) erfasst. Mit der 2. Befragung sollten die Wahrnehmungen der Lernenden zur Mediengestaltung, zu metakognitiven Strategien und zum Grad der erlebten Selbststeuerung ermittelt werden. Um die Lernenden individueller fördern zu können, wurde ein Lernstilttest durchgeführt. Durch die Erfassung des Lernstiltyps kann die Zusammensetzung der Lerngruppe ermittelt werden. Dadurch wird es möglich, die integrierte Lernumgebung nach den aktuellen Erfordernissen zu gestalten.

5.7.1 Textaufgaben-Tests

Die Leistungsentwicklung (Lernerfolg) wurde durch zwei Textaufgabentests (TCI-Pretest und TCI-Posttest) als Primärdatenerhebung ermittelt. Innerhalb der Voranalyse wurde ein Vorwissenstest mit den Lernenden der Experimental- und Kontrollgruppe durchgeführt, um gruppenspezifische Veränderungen nach der Interventionsphase auch als Interventionswirkung interpretieren zu können (Bortz, 2005). Durchgeführt wurde der Vorwissenstest (Test: Fachwissen „Wärmelehre“) am 1. Messzeitpunkt. Bei diesem Test hatten die Lernenden die Aufgabe, 5 problembasierte Textaufgaben zum Thema „Wärmelehre“ ohne mediale Unterstützung zu lösen. Am 2. Messzeitpunkt (TCI-Pretest) hatten die Lernenden der Experimentalgruppe die Aufgabe, sich Wissen mit digitalen Lernmedien und die Lernenden der Kontrollgruppe mit analogen Lernmedien anzueignen, um ihr Wissen zur Lösung von 20 problembasierten Textaufgaben zu nutzen. Die Textaufgaben sind so aufgebaut, dass eine Problemstellung vorgestellt wird, die dann durch aktives Lernen im Multiple-Choice-Verfahren beantwortet werden sollen. Die Textaufgaben wurden dem empirisch untersuchten „Thermodynamic Concept Inventory“ (Einhaus, 2007) entnommen, welches an der Universität Bremen entwickelt wurde. Gemessen wurde dann die Anzahl der richtig gelösten Aufgaben bei den Lernenden von Experimental- und Kontrollgruppe. Ziel war es festzustellen, ob die Lernenden der Experimentalgruppe mit Unterstützung des digitalen Selbstlernmoduls eine größere Anzahl von Aufgaben richtig gelöst haben als die Lernenden der Kontrollgruppe mit Unterstützung des analogen Selbstlernmoduls. Nach einer vierzehntägigen Lernphase (Interventionszeitraum) mit dem

jeweiligen Lernmedium (analog/digital) innerhalb der Experimental- und Kontrollgruppe wurde am 3. Messzeitpunkt ein 2. Wissenstest (TCI-Posttest) mit denselben 20 problembasierten Textaufgaben durchgeführt. Diesmal mussten die Lernenden ohne Unterstützung des jeweiligen Lernmoduls die Textaufgaben lösen. Gemessen wurde die Anzahl der richtig gelösten Aufgaben.

Ziel war festzustellen, ob die Lernenden der Experimentalgruppe eine größere Anzahl von Aufgaben richtig gelöst haben als die Lernenden der Kontrollgruppe. (siehe Tabelle 4). Mithilfe eines TCI-Pre-Post-Vergleichs von Experimental- und Kontrollgruppe wurde die Leistungsentwicklung (Behaltensleistung) untersucht. Ziel war es, festzustellen, ob sich die Lernenden von Experimental- und Kontrollgruppe mit Unterstützung von Lernmedien, Fachwissen selbstständig angeeignet haben und es dann zum Lösen von problembasierten Textaufgaben nutzen konnten.

Tab. 4: Zweigruppenplan mit Messwiederholung

Faktor A	Faktor B	
	TCI-Pretest	TCI-Posttest
Experimentalgruppe (A ₁)	E ₁	E ₂
Kontrollgruppe (A ₂)	K ₁	K ₂

5.7.2 Befragungen

Um die Selbsteinschätzungen der Lernenden zu den individuellen Lernvoraussetzungen (Personenmerkmalen), zum erlebten Grad der Selbststeuerung, zur Selbstregulation und zur Mediengestaltung zu erfassen, wurden zwei schriftliche Befragungen, aufgrund der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit, als Primärdatenerhebung durchgeführt. Die erste schriftliche Befragung (Fragebogen - Medien 1) wurde am 1. Messzeitpunkt durchgeführt. Bei dieser Befragung wurden die individuellen Lernvoraussetzungen und der Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ gemessen. Die zweite schriftliche Befragung (Fragebogen - Medien 2) wurde am 3. Messzeitpunkt durchgeführt. Bei dieser Befragung wurden die folgenden Aspekte erfasst: 1. Mediengestaltung, 2. metakognitive Strategien und 3. Grad der erlebten Selbststeuerung. Um eine anonyme Befragung zu gewährleisten und die Zuordnung der Lernenden zum jeweiligen Fragebogen sicherzustellen, wurde ein persönlicher Code vor der Studie für jeden Lernenden nach einem vorgegebenen Muster vergeben.

Die Fragebögen der schriftlichen Befragungen sind in je sechs Skalen untergliedert. 5 Skalen haben jeweils vier Items und eine Skala hat sechs Items. Die Anzahl der Items wurde begrenzt, um die Motivation der Lernenden beim Bearbeiten der Befragungen nicht zu gefährden, da die Lernenden neben den Befragungen am 1. Messzeitpunkt einen Lernstiltest

und am 3. Messzeitpunkt einen Wissenstest beantworten sollten. Die Items zur Messung der einzelnen Skalen wurden aus empirischen Studien entnommen (siehe Anhang E). Aus schulorganisatorischen Gründen war es nicht möglich, einen Probetest durchzuführen, um die Items der Fragebögen zu testen. Im 2. Zyklus des DBR-Forschungsansatzes sollte deshalb ein vierter Messzeitpunkt für die Voranalyse eingeplant werden.

Die höhere Zahl der Items wurde für das Personenmerkmal „Grad der erlebten Selbststeuerung“ gewählt, weil dieser Aspekt als abhängige Variable an zwei Messzeitpunkten gemessen wurde, also Bestandteil beider Fragebögen ist, um zu untersuchen, ob es zu einer Veränderung in der Selbsteinschätzung nach dem Treatment gekommen ist. Die Skalen wurden mithilfe einer Likert-Skala mit 4 Stufen erfasst. Es wurde für jede Skala der Median berechnet und zu einem Gruppenmedianwert zusammengefasst, um einen medienabhängigen und lernstilabhängigen Vergleich durchführen und statistisch untersuchen zu können.

5.7.2.1 Schülerfragebogen - Medien 1

Am 1. Messzeitpunkt wurden durch eine schriftliche Befragung (Schülerfragebogen – Medien 1) die individuellen Lernvoraussetzungen und der erlebte Grad der Selbststeuerung beim selbstgesteuerten Lernen erfasst. Zu den erfassten individuellen Lernvoraussetzungen gehören das „Medienwissen“, die „Lernmotivation“, das „Planvolle Handeln“ und die „Eigeninitiative“ als metakognitive Strategien und die „Selbstwirksamkeit“ als Selbstkonzept der Lernenden. Diese Skalen wurden vor der Intervention erfragt, um zu analysieren, inwieweit die Lernenden über die erforderlichen individuellen Lernvoraussetzungen verfügen und wie sie ihren Grad an erlebter Selbststeuerung theoretisch einschätzen. Wichtig war, die Anzahl der zu untersuchenden Aspekte zu beschränken, um die Lernenden durch die Vielzahl der Befragungen und Wissenstest nicht zu überlasten und ihre Motivation zu verlieren. Auf Grund der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit wurden die individuellen Lernvoraussetzungen mithilfe folgender fünf Skalen (1-5) und der „Erlebte Grad der Selbststeuerung“ mithilfe einer Skala (6) durch eine schriftliche Befragung (Fragebogen - Medien1) erfasst:

1. Die Lernmotivation (vgl. Kapitel 2.8):

Eine intrinsische Motivation ist notwendig für tiefergehendes Lernen, denn wenn aus Interesse und Neugier gelernt wird, werden Ausdauer und Zielstrebigkeit und im Ergebnis das selbstgesteuerte Lernen gefördert (Friedrich, 2004). Einflussgrößen liegen in der Person des Lernenden, aber auch in der Lernsituation (Konrad, 2008).

2. Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien (vgl. Kapitel 2.8):

Um selbstgesteuert und ausdauernd mit digitalen Medien lernen zu können, müssen die Lernenden über computer- bzw. internetrelevantes Wissen verfügen (Bildat, 2005).

3. Selbstwirksamkeit (vgl. Kapitel 2.8):

Dem Faktor Selbstwirksamkeit kommt eine besondere Bedeutung im Prozess des selbstgesteuerten Lernens zu, denn nach Bandura (1986) erleben sich die Lernenden selbst als wirksame Verursacher ihres Verhaltens und infolgedessen, schätzen sie ihre Kompetenzen günstig ein und zeigen in erhöhtem Maße selbstgesteuertes Verhalten (Konrad, 2008). Die Lernenden haben eine Art Selbstvertrauen in ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten, eine Lernaufgabe lösen zu können (Bildat, 2005). So konnten Pintrich, Smith, Garcia und McKeachie (1993) in Studien zeigen, dass eine hohe Selbstwirksamkeit mit einer häufigeren Anwendung kognitiver und metakognitiver Strategien und hoher Ausdauer einhergehen (Friedrich, 2004).

4. Planvolles Handeln (vgl. Kapitel 2.9):

Planvolles Handeln ist notwendig, um Lernziele zu erreichen. Der Lernende muss über die Fähigkeit verfügen, Informationen zu suchen und sie in Zusammenhänge zu bringen (Bildat, 2005). Der Lernende muss sich rückbesinnen können, auf frühere Lernhandlungen und auf die Organisation seines Vorwissens. Ebenfalls muss er sich selbst motivieren können (Konrad, 2008).

5. Eigeninitiative (vgl. Kapitel 2.9):

Eigeninitiative ist wichtig, um den Prozess nicht nur zu starten, sondern auch bei Problemen und Misserfolgen weiter zu lernen und seine Ziele nicht aus dem Auge zu verlieren (Aeppli, 2005). Sie kann also als stabiles Arbeitsverhalten verstanden werden (Bildat, 2005).

6. Grad der Selbststeuerung 1 (vgl. Kapitel 2.6.3):

Dieser Aspekt ist von großer Bedeutung, weil es für die Lernenden wichtig ist, den eigenen Handlungsspielraum zu erleben und an der Gestaltung der eigenen Lernsituation mitzuwirken. Der Lernende erfährt, dass es aufgrund seiner eigenen Kompetenz und seiner persönlichen Anstrengung möglich ist, eine Lernsituation nach eigenen Vorstellungen weiterzuentwickeln. So ist die erlebte Selbststeuerung eine wichtige Voraussetzung für eine Lernerautonomie und das Erlangen von Selbststeuerungskompetenzen (Konrad, 2008). Aus diesem Grund wird der Grad der erlebten Selbststeuerung vor und nach der Intervention erfragt, um einen möglichen Zusammenhang zum Lernerfolg nachzuweisen und um das Bewusstsein für diese Fähigkeit bei den Lernenden zu wecken.

Der Schülerfragebogen Medien - 1 enthält somit die folgenden Skalen:

1. Lernmotivation
2. Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien
3. Selbstwirksamkeit
4. Planvolles Handeln
5. Eigeninitiative
6. Grad der erlebten Selbststeuerung 1

5.7.2.2 Schülerfragebogen - Medien 2

Am 3. Messzeitpunkt wurden durch eine schriftliche Befragung (Schülerfragebogen-Medien 2) die Aspekte der „Mediengestaltung“, metakognitive Aspekte und der Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ erfasst.

Auf Grund der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit wurden die Aspekte der Mediengestaltung mithilfe der Skalen „Benutzerfreundlichkeit“ (1) und „Nützlichkeit“ (2), die metakognitiven Aspekte mithilfe der Skalen „Ausdauer“ (3), „Umgang mit Fehlern“ (4), „Lernzielkontrolle“ (5) und der Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ (6) gemessen.

1. Benutzerfreundlichkeit des Lernmediums (vgl. Kapitel 2.6.1):

Damit sich die Lernenden in Selbstlernphasen allein mit einem Lernthema auseinandersetzen können, müssen die Lernmaterialien strukturiert und verständlich aufgebaut und mit ansprechenden Grafiken gestaltet sein.

Die Benutzerfreundlichkeit wird als Ausmaß verstanden, wie das Lernmodul durch die Lernenden genutzt wird, um das Lernziel (Lösung der textbasierten Problemaufgaben) zu erreichen (Rey, 2009).

2. Nützlichkeit des digitalen Mediums als Arbeitsmittel (vgl. Kapitel 2.6.1)

Sie sind ein nützliches Arbeitsmittel, wenn die Lernenden zeit- und ortsunabhängig lernen können. Sie müssen an die Lernsituation anpassbar sein und ein individuelles Ausprobieren gestatten. Der Aspekt „Nützlichkeit“ wird als Maß verstanden, inwieweit es gelingt durch das Lernmodul, die Lerninhalte zu vermitteln (Rey, 2009)

3. Ausdauer (vgl. Kapitel 2.7):

Der Prozess des selbstgesteuerten Lernens verlangt aktives Handeln über einen längeren Zeitraum, dafür ist die Fähigkeit der Ausdauer notwendig. Ist der Lernende motiviert und schätzt seine Kompetenzen (Selbstwirksamkeit) als günstig ein, lernt er ausdauernder und Lernerfolge können sich einstellen (Friedrich, 2004)

4. Umgang mit Fehlern (vgl. Kapitel 2.8):

Mit diesem Aspekt soll untersucht werden, wie die Lernenden mit Misserfolgen umgehen, denn Erfolgs- oder Misserfolgsmotivierte unterscheiden sich darin, wie sie Erfolg oder Misserfolg erklären. Erfolgsmotivierte Lerner schreiben Misserfolge auf mangelnde Anstrengung oder Pech zurück, dagegen schreiben Misserfolgsorientierte die Misserfolge der eigenen Unfähigkeit zu. Die emotionale Belastung beeinträchtigt in Folge dann die Lernleistung (Bildat, 2005).

5. Lernzielkontrolle (vgl. Kapitel 2.8):

Der Lernende kann seine Lernhandlungen bewerten und auswerten. Dieser Aspekt ist wichtig, denn lernzielorientierte Personen lernen aus Interesse, weil das eigene Fähigkeitskonzept als veränderbar angesehen wird (Konrad, 2008).

6. Grad der erlebten Selbststeuerung 2 (vgl. Kapitel 2.6.3):

Zu diesem Messzeitpunkt wird der Aspekt von den Lernenden, aufgrund ihrer praktischen Erfahrung mit dem jeweiligen Lernmodul (digital/analog) in der Lernumgebung, bewertet.

Der Schülerfragebogen - Medien 2 enthält die folgenden Skalen:

1. Benutzerfreundlichkeit
2. Nützlichkeit des digitalen Mediums als Arbeitsmittel
3. Ausdauer
4. Umgang mit Fehlern
5. Lernzielkontrolle
6. Grad der erlebten Selbststeuerung 2

5.7.3 Lernstiltest

Um die Lernpräferenzen als praktische Voraussetzungen der Lernenden zu untersuchen, wurde der Lernstiltest nach Kolb, nach dem Test: Fachwissen „Wärmelehre“ als schriftliche Befragung, durchgeführt. Ziel war, die Lernstilgruppen zu ermitteln, um festzustellen, wie heterogen sich die jeweilige Lerngruppe zusammensetzt und um zu untersuchen, ob lernstilabhängige Unterschiede zwischen den Lernstilgruppen im Lernerfolg, in der Bewertung der Mediengestaltung und im Grad der Selbststeuerung feststellbar sind. Der Fragebogen für den Lernstiltest enthält vier Kategorien (AE, RB, AB, KE) in denen Punkte vergeben wurden (vgl. Kapitel 2.9). Die Punkte wurden addiert und als Resultat wurden vier Werte in vier Kategorien ermittelt. Diese Werte wurden im nächsten Schritt durch Subtraktion zu den Lernstiltypen nach Kolb kombiniert. Diese ermittelten Werte wurden nun in ein Koordinatenkreuz übertragen. Auf negative Vorzeichen musste geachtet werden. Diese Werte wurden rechtwinklig zueinander verbunden und man erhielt so einen Wert in

einem, der vier, Quadranten, siehe Abbildung 2, dem dann jeweils ein Lernstiltyp (Assimilierer, Divergierer, Konvergierer, Akkomodierer) zugeordnet wurde.

Ein Mischtyp aus zwei Lernstiltypen lag vor, wenn einer der Werte 0 war. Wenn beide Werte 0 waren, lag ein ausgeglichener Lerntyp vor und der Lernende trägt von allen vier Lernstiltypen Anteile in sich. Durch die Ermittlung des Lernstiltyps wird es möglich, die Heterogenität in einer Lerngruppe zu erfassen, um davon ableitend, die Lernmethoden bzw. den Einsatz von Medien für die Lernumgebung individuell an die Lerngruppe anpassen zu können.

5.8 Gütekriterien

Um die Qualität der Messverfahren zu gewährleisten, wurden die Gütekriterien Objektivität, Validität und Reliabilität bei der Datenerhebung berücksichtigt.

Die Objektivität der Messverfahren wurde gewährleistet, weil der Untersuchungsablauf vom Autor genau definiert worden ist. Die Durchführungsobjektivität konnte gewährleistet werden, in dem als Testleiter nicht der Autor der Studie, sondern der jeweilige Physiklehrer fungierte. Er übermittelte die Anweisungen zur Durchführung der Befragungen und der Tests an die Lernenden. Ebenfalls wurde durch eine verständlich und eindeutig formulierte Instruktion, die vom Testleiter lediglich vorgelesen wurde, die soziale Interaktion zwischen dem Testleiter und den Lernenden auf ein Minimum reduziert. Der Autor der Studie war anwesend, um bei Problemen den Testleiter unterstützen zu können. Da die standardisierten Wissenstests so konzipiert wurden, dass die Lernenden lediglich zwischen verschiedenen vorgegebenen Antwortmöglichkeiten auswählen konnten, gab es bei der Durchführung und Auswertung der Antworten keinerlei Spielraum, wodurch die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität ermöglicht wurde. So haben Multiple-Choice-Aufgaben eine hohe Objektivität, weil die richtigen Aufgaben leicht erkannt und für jeden offensichtlich festgelegt werden können (Nerdel, 2017). Bei den Befragungen wurden ausschließlich geschlossene Fragen verwendet. Dadurch konnte die Interpretationsobjektivität garantiert werden. Ebenfalls wurden alle Fragebögen und Wissenstests vom Autor der Untersuchung ausgewertet, wodurch ebenfalls keine unterschiedlichen Interpretationen entstehen konnten (Sedlmeier, 2013). Die Reliabilität wurde durch eine gleichbleibende Untersuchungssituation während der einzelnen Datenerhebungen sichergestellt. Die Messungen wurden immer mit Lernenden der 10. Klassenstufe durchgeführt, damit alle den gleichen Wissensstand hatten. Die Reliabilität des Wissenstests wurde gewährleistet, indem zwischen der ersten und zweiten Testdurchführung ein zweiwöchiger Zeitraum lag, um Erinnerungseffekten vorzubeugen (Sedlmeier, 2013).

Die Reliabilität der Befragungen konnte sichergestellt werden, weil alle Lernenden die gleichen Fragen innerhalb eines standardisierten Fragebogens beantwortet haben. Die Items

für die Skalen der Fragebögen wurden nicht selbst konzipiert, sondern aus empirischen Untersuchungen entnommen (vgl. Quellenangabe-Anhang E).

Die Zuverlässigkeit wurde des Weiteren durch eine eindeutige Datenanalyse gewährleistet. Die erhobenen Messwerte wurden nach statistischen Methoden ausgewertet und aufbereitet, um Informationen zu gewinnen und Zusammenhänge zu entdecken (Bortz, 2005).

Die Validität der Studie war gegeben, weil die Untersuchungen in der vertrauten Umgebung der Lernenden stattgefunden haben und als Testleiter keine fremde Person fungierte, sondern der unterrichtende Physiklehrer.

Die Validität der Befragungen wurde durch verständlich formulierte Fragen garantiert. Die Lernenden füllten die standardisierten Fragebögen selbständig unter Aufsicht des Testleiters in ihrem gewohnten Klassenraum aus. Aufgrund des krankheitsbedingten Ausfalls von Lernenden beider Stichproben, verringerte sich der Stichprobenumfang stark. Dadurch konnte keine Normalverteilung der Daten mehr angenommen werden. Auf die Durchführung einer Reliabilitätsanalyse wurde wegen dieser fehlenden Testvoraussetzung verzichtet. Im 2. Zyklus sollte vorab innerhalb einer Voranalyse ein Probetest durchgeführt werden, um die Items der Fragebögen auf ihre innere Konsistenz zu testen.

Die interne Validität beider Stichproben kann als akzeptabel angesehen werden, weil sich die durchschnittlichen Werte des Tests (U-Test nach Mann-Whitney) zum Fachwissen „Wärmelehre“ der Experimental- und Kontrollgruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden und es nach dem Kruskal-Wallis-Test auch keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in den drei Wissenstests gibt (Bortz, 2006).

5.9 Auswertungsmethoden

Die Auswertung der Forschungsfragen erfolgt nach dem zeitlichen Ablauf der Untersuchung. In der Reihenfolge der zu untersuchenden Forschungsfragen (vgl. Kapitel 5.2) werden die jeweils genutzten statistischen Methoden für die untersuchten unabhängigen und abhängigen Variablen innerhalb der Vor- und Hauptanalyse dargestellt.

Aufgrund der Stichprobe 1, die unter 30 Personen liegt, wurden zur statistischen Auswertung parameterfreie statistische Methoden zum Testen der statistischen Hypothesen genutzt, da eine Normalverteilung für die zu untersuchenden Variablen nicht garantiert werden kann. Als Kennwerte zur Untersuchung der unabhängigen und abhängigen Variablen werden der Median als Ranginformation, der Interquartilsabstand als Streuungsmaß und der Rangkorrelationskoeffizient als Zusammenhangsmaß bestimmt.

Die 1. Forschungsfrage lautet: „Welchen Einfluss haben die individuellen Lernvoraussetzungen auf das Lernen in einer integrierten Lernumgebung?“.

Lernen geschieht immer im Rahmen der Persönlichkeitsentwicklung. Aus diesem Grund sind die individuellen Lernvoraussetzungen (Personenmerkmale) zu berücksichtigen (Gläser-Zikuda, 2007). Die 1. Forschungsfrage analysiert die Wechselbeziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen (Medienwissen, Motivation, metakognitive Lernstrategien, Selbstwirksamkeit), um zu untersuchen, inwieweit sie einen Einfluss auf den Lernprozess und den Lernerfolg haben (Girwidz, 2006). Das Ziel ist, durch die gewonnenen Daten Probleme der Lernenden aufzudecken, um sie individueller fördern zu können. Zur statistischen Überprüfung der Forschungshypothese wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt und der Spearman-Korrelationskoeffizient r_{sp} berechnet, um den Zusammenhang der individuellen Voraussetzungen zum Lernerfolg zu untersuchen, aber auch zu analysieren, inwieweit ein Zusammenhang zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen besteht.

Die 2. Forschungsfrage lautet: „Wie kann der Lernerfolg beim Lösen von problemhaltigen Textaufgaben in einer integrierten Lernumgebung gesteigert werden?“

Die Forschungsfrage wird zum einen untersucht durch eine Analyse des Lernerfolgs beim Lösen von problemhaltigen Textaufgaben mit Unterstützung von digitalen Lernmaterialien und zum anderen durch die Analyse der Behaltensleistung ohne die Unterstützung von digitalen Lernmaterialien. Die Leistungsentwicklung wird operationalisiert durch die abhängige Variable „Lernerfolg“. Diese Variable wird durch die Anzahl der richtig gelösten Textaufgaben in den Textaufgabentests gemessen. Die Auswertung erfolgt durch den Lernerfolgsvergleich zweier Unterrichtsmethoden (analoge/digitale Medien) auf drei Arten:

1. mithilfe eines Zweigruppen-Vergleichs von unabhängigen Stichproben (Test: Fachwissen „Wärmelehre“, TCI-Pretest, TCI-Posttest), um die Lerngruppen (Experimental/Kontrollgruppe) zu vergleichen
2. mithilfe eines Vergleichs zu geschlechtsspezifischen Unterschieden
3. mithilfe eines Zweigruppen-Vergleichs von abhängigen Stichproben, um die Veränderung zwischen zwei Messzeitpunkten zu erfassen

Ziel ist, zu erfassen, ob sich die Lernenden mit beiden Medienformaten selbständig Fachwissen aneignen und es zum Lösen der problemhaltigen Textaufgaben anwenden konnten. Zur statistischen Überprüfung der Forschungshypothese wurde 1. ein U-Test nach Mann & Whitney und 2. ein Wilcoxon-Test durchgeführt.

Die 3. Forschungsfrage lautet: „Welchen eigenen Handlungsspielraum können die Lernenden in einer integrierten Lernumgebung während des Lernprozesses wahrnehmen?“

Diese Forschungsfrage wird durch die abhängige Variable „Grad der erlebten Selbststeuerung“ untersucht. Mithilfe dieser Variablen soll untersucht werden, in wieweit die Lernenden beim Lernen mit ihrem Medium einen eigenen Handlungsspielraum erleben, das heißt, autonom ihren Lernweg organisieren und ihre eigene Kompetenz erfahren können. Der Handlungsspielraum wird operationalisiert durch die abhängige Variable „Grad der erlebten Selbststeuerung“. die Selbsteinschätzung der Lernenden (Medianvergleich) in den schriftlichen Befragungen. Erfasst wird dies Variable einmal als theoretische Überzeugung und zum anderen als praktische Erfahrung nach dem Lernen in der jeweiligen Lernumgebung. Ziel ist, zu erfassen, ob die Lernenden mit beiden Medienformaten selbstgesteuert lernen konnten.

Zur statistischen Überprüfung der Forschungshypothese wurde ein Wilcoxon-Test für 2 abhängige Stichproben durchgeführt.

Die 4. Forschungsfrage lautet: „Welchen Einfluss haben die Aspekte der Selbstregulation während des Lernprozesses untereinander und auf den Lernerfolg der Lernenden?“

Die Selbstregulation ist notwendig, um die eigenen Lernschritte und individuellen Handlungen effektiv zu gestalten und die Lernfortschritte zu überwachen (Konrad, 2008). Lernen muss vorbereitet, durchgeführt und reguliert werden. Dazu müssen die Lernenden über metakognitive Strategien verfügen, aber auch über Strategien, um ausdauernd zu lernen und um mit Fehlern umzugehen (Simons, 1992).

Ziel ist, zu untersuchen, ob die Lernenden über metakognitive Lernstrategien verfügen und welchen Einfluss diese auf den Lernerfolg haben.

Zur statistischen Überprüfung der Forschungshypothese wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt und der Spearman-Korrelationskoeffizient r_{sp} zwischen den Skalen Ausdauer, Umgang mit Fehlern, Planvolles Handeln, Eigeninitiative und Lernzielkontrolle und in Bezug zum Aspekt „Lernerfolg“ in den Wissenstests (TCI-Pre- und Posttest) berechnet.

Die 5. Forschungsfrage lautet: „Welchen Einfluss hat die Mediengestaltung auf den Lernerfolg?“

Laut des Angebot-Nutzungsmodell von Helmke (2015), ist die Gestaltung der Lernmaterialien eine relevante Einflussgröße für den Lernerfolg (Nerdel, 2017).

Die 5. Forschungsfrage bewertet die Mediengestaltung mithilfe von zwei Aspekten (Benutzerfreundlichkeit; Nützlichkeit), mit dem Ziel zu analysieren, ob es Unterschiede in der Bewertung der Mediengestaltung zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe gibt und ob dieser Aspekt einen Einfluss auf den Lernerfolg hat. Zur statistischen Überprüfung der Forschungshypothese wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt und der Spearman-Korrelationskoeffizient r_{sp} zum einen zwischen den Aspekten „Benutzerfreundlichkeit“ und „Nützlichkeit“ und zum anderen in Bezug auf den Aspekt „Lernerfolg“ in den Wissenstest (TCI-Pre -und Posttest) berechnet.

Die 6. Forschungsfrage lautet: „Wie kann eine integrierte Lernumgebung konzipiert werden, dass sie individuelle Unterschiede im Lernverhalten der Lernenden berücksichtigt?“.

Um die individuellen Unterschiede im Lernverhalten zu untersuchen, wird für jeden Lernenden der Lernstiltyp nach dem Lernstiltest von David Kolb ermittelt. Dann wird jeder Lernende, einer der vier Lernstilgruppen zugeordnet. Um die Unterschiede im Lernverhalten der Lernenden zu analysieren, wird der „Lernerfolg“ durch die Anzahl der richtig gelösten Textaufgaben jeder Lernstilgruppe in den Textaufgabentests erfasst.

Ziel ist, festzustellen, wie heterogen sich die Lerngruppen zusammensetzen und inwieweit die Lernstilgruppen vom Lernen in der Lernumgebung am 2. Messzeitpunkt (TCI-Pretest) und am 3. Messzeitpunkt (TCI-Posttest) profitieren.

Neben der Erfassung der lernstilabhängigen Leistungsentwicklung beim Lernen mit Medien (digital/analog) ist es wichtig, die in den Forschungsfragen 1, 3, 4 und 5 diskutierten Aspekte (Lernvoraussetzungen, Grad der Selbststeuerung, Selbstregulation und Mediengestaltung) ebenfalls nach Lernstilgruppen zu erfassen, um deren Einfluss auf das Lernverhalten zu untersuchen. Das Wissen um die Unterschiede ist zentral, um eine Lernumgebung didaktisch optimal gestalten zu können, weil hier das Programm (Selbstlernmodul) die Vermittlung des Lernstoffs übernimmt (Haman, 2012).

Die Datenauswertung erfolgt durch einen Mittelwertvergleich der Lernstilgruppen. Auf Grund der geringen Stichprobengröße kann die Forschungsfrage nicht auf ihre statistische Richtigkeit überprüft werden. Ziel ist, festzustellen, ob individuelle Unterschiede im Lernerfolg trotz gleicher Kontextbedingungen in der digitalen Lernumgebung feststellbar sind und welchen Einfluss die untersuchten Aspekte aus den Forschungsfragen 1, 3, 4 und 5 haben (vgl. Skehan, 1989).

6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analysen vorgestellt, die sich in Bezug auf die sechs Forschungsfragen dieser Arbeit zur Beantwortung der zentralen Fragestellung ergeben haben. Der Hauptanalyse zur Hypothesenprüfung (vgl. Kapitel 6.2) ist eine Voranalyse (vgl. Kapitel 6.1) vorangestellt, um die Lerngruppen in Bezug auf ihr Vorwissen vergleichen (vgl. 6.1.1), den Lernstiltyp (vgl. Kapitel 6.1.2) und die individuellen Lernvoraussetzungen als Ist-Zustand (vgl. Kapitel 6.1.3) erfassen zu können.

Da es ein Ziel ist, eine Lernumgebung für Lernende mit verschiedenen Lernvoraussetzungen zu erstellen, nahmen an der Hauptstudie jeweils zwei Klassen einer Integrierten Gesamtschule und einem Gymnasium teil. Die Ergebnisse werden in Stichprobe 1 für die IGS und in Stichprobe 2 für das Gymnasium dargestellt. Die Datenanalyse erfolgte mithilfe des Statistikprogramms SPSS 25. Zum Testen der Hypothesen der Wissenstests wurde ein Signifikanzniveau von $p = 0,05$ verwendet. Eine β -Fehler-Wahrscheinlichkeit kann nicht bestimmt werden, da ungerichtete, unspezifische Alternativhypothesen untersucht werden (Bortz, 2004).

6.1 Voranalyse

Während geplante Unterrichtskonzepte noch innerhalb der Durchführung des Unterrichts, aufgrund der aktuellen Gegebenheiten, angepasst werden können, müssen Unterrichtsmedien stärker vorausgeplant werden. So müssen bei der Planung die folgenden Aspekte berücksichtigt werden: 1. Vorwissen, 2. individuellen Lernvoraussetzungen (Lernmotivation, Selbstwirksamkeit, Lernstrategien und das Medienwissen) und 3. „Grad der erlebten Selbststeuerung“.

6.1.1 Ergebnisse des Tests zum Vorwissen „Wärmelehre“

Der Vorwissenstest war erforderlich, um die Gleichverteilung der Leistungsvoraussetzungen von Experimental- und Kontrollgruppe, aufgrund der fehlenden Randomisierung, zu überprüfen. Die Überprüfung des Vorwissens erfolgte mithilfe eines Textaufgaben-Wissenstests, der aus dem Thermodynamic Concept Inventory“ von B. Einhaus (2007) abgeleitet wurde. Er bestand aus 5 problembasierten Aufgaben, die im Multiple-Choice-Verfahren beantwortet werden sollten. Die geringe Anzahl an zu lösenden Textaufgaben wurde gewählt, um die Motivation der Lernenden aufrecht zu erhalten, da innerhalb der Voranalyse ebenfalls der Lernstiltypentest nach D. Kolb und die schriftliche Befragung zu den individuellen Lernvoraussetzungen durchgeführt wurden.

Stichprobe 1 - IGS:

Die Stichprobe 1 bilden 23 Lernende, davon gehören 12 Lernende der Experimentalgruppe und 11 Lernende der Kontrollgruppe an. Als Gesamtmittelwert (Lagemaß) wird der Median berechnet, weil die Normalverteilung der Daten aufgrund der kleinen Stichprobe nicht gegeben ist. Als Streuungsmaß wird der Interquartilsabstand (QA) angegeben. Dieser Wert umfasst ca. 50 % der Werte in der Mitte der Verteilung (Sedlmeier, 2013).

Tab. 5: Gruppenvergleich - Test: Fachwissen „Wärmelehre“- Stichprobe 1

Stichprobe 1	Test: Fachwissen „Wärmelehre“
Experimentalgruppe	2,0 (1,0)
Kontrollgruppe	2,0 (1,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Zur statistischen Überprüfung der Vergleichbarkeit beider Gruppen wurde der U-Test nach Mann & Whitney für 2 unabhängige Stichproben durchgeführt. Die statistische Hypothese lautet:

- **Nullhypothese:** Die mittleren Rangplätze zwischen Experimental- u. Kontrollgruppe unterscheiden sich nicht.
- **Alternativhypothese:** Die mittleren Rangplätze zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich.

Der Vergleich der mittleren Rangplätze zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich des Vorwissens gibt ($p = 0,566$). Die Nullhypothese wird akzeptiert (siehe Tabelle 1, Anhang A).

Stichprobe 2 - Gymnasium:

Die Stichprobe 2 bilden 45 Lernende, davon gehören 22 Lernende der Experimentalgruppe und 23 Lernende der Kontrollgruppe an. Als Lagemaß wird der Median berechnet und als Streuungsmaß wird der Interquartilsabstand (QA) angegeben.

Tab. 6: Gruppenvergleich Test: Fachwissen „Wärmelehre“ - Stichprobe 2

Stichprobe 2	Test: Fachwissen „Wärmelehre“
Experimentalgruppe	3,0 (3,0)
Kontrollgruppe	2,0 (1,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Der Vergleich der mittleren Rangplätze zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich des Vorwissens gibt ($p = 0,062$). Die Nullhypothese wird akzeptiert (siehe Tabelle 1, Anhang B). Die Lernenden der Experimental- und Kontrollgruppe beider Stichproben unterscheiden sich nicht signifikant in ihrem Vorwissen.

Die gleiche Verteilung der Leistungsvoraussetzungen ist somit gegeben und kann deshalb für weitere Vergleichsuntersuchungen angenommen werden.

6.1.2 Ergebnisse des Lernstiltests nach D. Kolb zur Ermittlung des Lernstiltyps

Um zu analysieren, wie heterogen sich die Lerngruppen in Bezug auf ihr Lernverhalten zusammensetzen, wurde in beiden Klassen der Stichproben der Lernstiltest nach D. Kolb durchgeführt. Die Auswertung der Lernstiltests (siehe Anhang D) ergab, dass die Lernenden beider Stichproben eine heterogene Lerngruppe nach ihren Lernpräferenzen bilden, da fast alle vier Lernstilgruppen (Ausnahme: fehlender Lernstiltyp Divergierer in Experimentalgruppe der Stichprobe 2) nach Kolb in beiden Lerngruppen (Experimental/Kontrollgruppe) vertreten sind. Es kommt also bei der Gestaltung von Lernmedien darauf an, dass sie so gestaltet sind, dass sie allen Lernstiltypengruppen Vorteile bieten (Hamann, 2012). Welche Aspekte für die jeweilige Lernstiltypengruppe zu berücksichtigen sind, dass sie sich nach ihren Lernpräferenzen dem Lernstoff nähern können, wird unter Kapitel 2.10 erläutert.

Tab. 7: Verteilung der Lernstiltypen - Stichprobe 1 (IGS)

Stichprobe 1	Assimilierer	Konvergierer	Akkomodierer	Divergierer
Experimentalgruppe (12)	2	4	4	2
Kontrollgruppe (11)	4	3	3	1

Tab. 8: Verteilung der Lernstiltypen - Stichprobe 2 (Gymnasium)

Stichprobe 2	Assimilierer	Konvergierer	Akkomodierer	Divergierer
Experimentalgruppe (22)	7	9	6	-
Kontrollgruppe (23)	9	8	3	3

Auswertung: Stichprobe 1

Anhand der Tabelle 7 lässt sich erkennen, dass in Stichprobe 1 alle vier Lernstiltypen innerhalb der relativ kleinen Lerngruppe von 23 Lernenden vorkommen. In der Experimentalgruppe sind die Akkomodierer mit 4 Lernenden (33,3%) und die Konvergierer mit 4 Lernenden (33,3%) am stärksten vertreten. Assimilierer (16,7%) und Divergierer (16,7%) sind dagegen mit je 2 Lernenden vertreten (siehe Tabelle 7). In der Kontrollgruppe zeigt sich die folgende Verteilung, 3 Akkomodierer (27,3%), Konvergierer (27,3%), Assimilierer (36,4) und Divergierer (9,0%). Bis auf zwei Mischtypen in der Kontrollgruppe und einem Mischtyp in der Experimentalgruppe konnten alle Lernenden genau einem Lernstiltyp

zugeordnet werden. Die Mischtypen wurden der Gruppe mit der stärksten Tendenz zugeordnet.

Auswertung: Stichprobe 2

In der Experimentalgruppe sind die Konvergierer mit 9 Lernenden am stärksten vertreten (41%). Die Gruppe der Assimilierer (32 %) bilden 7 Lernenden, gefolgt von der Gruppe der Akkomodierer (27 %) mit 6 Lernenden. Divergierer kommen gar nicht in dieser Lerngruppe vor. Die vier Mischtypen wurden der Lernstilgruppe mit der stärksten Tendenz zugeordnet. In der Kontrollgruppe sind die Assimilierer (39,1%) mit 9 Lernenden und die Konvergierer (34,9%) mit 8 Lernenden ebenfalls am stärksten vertreten. Akkomodierer (13,0%) und Divergierer (13,0%) sind jeweils 3 Lernende (siehe Tabelle 8). Die drei Mischtypen wurden auch hier der Lernstilgruppe mit der stärksten Tendenz zugeordnet.

Da die Ergebnisse des Lernstilttest zeigen, dass die Lernenden eine heterogene Gruppe sind, die unterschiedlich beim Lernen vorgehen. Aus diesem Grund sollten unterschiedliche Zugangswege zum Lernstoff angeboten werden (Haman, 2012).

6.1.3 Ergebnisse der Befragung zu den individuellen Lernvoraussetzungen

Als Untersuchungsinstrument zur Selbsteinschätzung der individuellen Lernvoraussetzungen (vgl. Kapitel 2.7) wurde ein papierbasierter Fragebogen eingesetzt.

Mithilfe von 5 Aspekten wurden die Wahrnehmungen der Lernenden in Bezug auf ihre individuellen Lernvoraussetzungen erfasst, um die Wahrnehmungen zwischen den Lernenden der Experimental- und Kontrollgruppe zu vergleichen. Ziel ist, zu analysieren, über welche Selbstkonzepte die Lernenden verfügen und welchen Einfluss diese Aspekte auf das Lernen in der digitalen Lernumgebung in Bezug auf Leistungsentwicklung haben.

Auswertung: Stichprobe 1

Tab. 9: Median und Quartilsabstand im Vergleich Experimental/Kontrollgruppe

IGS	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
Lernmotivation	2,0 (0)	2,0 (1,0)
Selbstwirksamkeit	2,0 (0,5)	2,0 (0,5)
Planvolles Handeln	2,5 (0,5)	3,0 (2,5)
Eigeninitiative	2,0 (1,0)	2,0 (1,0)
Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien	2,0 (1,0)	1,5 (1,5)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

In der Experimentalgruppe wurden vier Aspekte mit Md = 2,0 bewertet und nur der Aspekt „Planvolles Handeln“ wurde schlechter mit einem Wert von Md = 2,5 bewertet. In der Kontrollgruppe wurde der Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ (Md = 1,5) am besten bewertet, drei Aspekte mit Md = 2,0 und nur der Aspekt „Planvolles Handeln“ wurde,

wie in der Experimentalgruppe, am schlechtesten ($Md = 3,0$) bewertet.

Um zu überprüfen, ob zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen ein Zusammenhang besteht, wurde innerhalb einer Korrelationsanalyse der Spearman-Korrelationskoeffizient r_{sp} ermittelt. Folgende Hypothese soll überprüft werden:

- **Nullhypothese:** Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen bestehen keine positiven Wechselbeziehungen.
- **Alternativhypothese:** Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen bestehen positive Wechselbeziehungen.

Ergebnis der Korrelationsanalyse der Stichprobe 1

- Bei den Lernenden der Experimentalgruppe korreliert der Aspekt „Planvolles Handeln“ signifikant positiv mit dem Aspekt „Eigeninitiative“ ($r = + 0,797$).
Die Höhe des Korrelationskoeffizienten (Spearman-Korrelationskoeffizient r_{sp}) zeigt einen hohen Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,002$), siehe Tabelle 12, Anhang A.
- Bei den Lernenden der Kontrollgruppe dagegen bestehen keine signifikanten positiven Wechselbeziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen, siehe Tabelle 13, Anhang A.

Auswertung: Stichprobe 2

Tab. 10: Median und Quartilsabstand im Vergleich Experimental/Kontrollgruppe

Gymnasium	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
Lernmotivation	2,0 (0,5)	2,0 (0,5)
Selbstwirksamkeit	2,5 (1,0)	2,0 (0,5)
Planvolles Handeln	2,0 (1,5)	2,0 (1,5)
Eigeninitiative	2,0 (1,5)	2,0 (0)
Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien	1,5 (1,0)	2,0 (1,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Die Experimentalgruppe schätzt den Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ am besten ein ($Md = 1,5$). Dagegen wird der Aspekt „Selbstwirksamkeit“ am schlechtesten bewertet ($Md = 2,5$). Die anderen drei Lernvoraussetzungen werden von den Lernenden der Experimentalgruppe mit dem Wert $Md = 2,0$ eingeschätzt. Die Kontrollgruppe weist ein homogenes Ergebnis auf. Alle fünf Aspekte werden mit dem Wert $Md = 2,0$ bewertet (siehe Tabelle 10). Um zu überprüfen, ob zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen ein Zusammenhang besteht, wurde eine multivariate Korrelationsanalyse durchgeführt.

Folgende Hypothese soll überprüft werden:

- **Nullhypothese:** Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen bestehen keine positiven Wechselbeziehungen.

- **Alternativhypothese:** Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen bestehen positive Wechselbeziehungen.

Stichprobe 2:

Bei den Lernenden der Experimentalgruppe wurden folgende Korrelationen festgestellt:

1. Die Skala „Selbstwirksamkeit“ korreliert positiv mit dem Aspekt „Lernmotivation“ ($r = +0,609$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,003$), siehe Tabelle 12, Anhang B.
2. Die Skala „Planvolles Handeln“ korreliert positiv mit der Skala „Eigeninitiative“ ($r = +0,525$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,012$), siehe Tabelle 12, Anhang B.

Bei den Lernenden der Kontrollgruppe wurden die folgende Korrelation festgestellt:

- Die Skala „Selbstwirksamkeit“ korreliert positiv mit dem Aspekt „Lernmotivation“ ($r = +0,456$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen geringen Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,029$), siehe Tabelle 13, Anhang B.

Da die Variablen nicht metrisch und nicht normalverteilt sind, kann der Zusammenhang nicht mithilfe einer linearen Regression geschätzt werden (Raab-Steiner, 2012).

6.2 Hauptanalyse

Die in Kapitel 5.2 formulierten Forschungsfragen sollen auf fünf Ebenen beantwortet werden. Zuerst werden die Ergebnisse der Leistungsentwicklung beim Lernen mit digitalen bzw. analogen Lernmaterialien dargestellt, um den Einfluss des Mediums zu untersuchen. Dann werden die Selbsteinschätzungen der Lernenden in der selbstgesteuerten Lernumgebung analysiert, um zu untersuchen, wie die Lernenden den eigenen Handlungsspielraum wahrnehmen. Danach wird das Lernverhalten während des Lernprozesses untersucht, um festzustellen, inwieweit die Lernenden ihr Lernverhalten selbst regulieren können. Anschließend werden die Bewertungen der Lernenden zur Mediengestaltung thematisiert, weil die extrinsische Belastung davon abhängt.

Nach der Cognitive-Load-Theorie (Sweller, 2011) setzt sich die kognitive Belastung beim Lernen aus der extrinsischen und der intrinsischen Belastung (Schwierigkeit des Lerngegenstands) zusammen. Aus diesem Grund werden abschließend die individuellen Herangehensweisen beim Erwerb von neuem Fachwissen mithilfe der ermittelten Lernstiltypengruppen verglichen. Ziel ist zu untersuchen, inwieweit digitale Lernmedien lernförderlich sind, um die Lernenden gleichermaßen zu aktivieren und sie auf ihren Lernprozess zu fokussieren (Hillmayr, 2017).

6.2.1 Ergebnisse der Leistungsentwicklung

Zur Messung der kognitiven Fähigkeiten wird als Untersuchungsinstrument der Wissenstest aus dem „Thermodynamic Concept Inventory“ eingesetzt, der von E. Einhaus (2007) an der Universität Bremen entwickelt worden ist.

Eine Woche nach dem Test: Fachwissen „Wärmelehre“ erfolgte der TCI-Pretest. Die Lernenden hatten die Aufgabe sich in Einzelarbeit mithilfe des Selbstlernmoduls (Experimentalgruppe: digitale und Kontrollgruppe: analoge Lernmaterialien) Fachwissen anzueignen, um dann im Anschluss den Wissenstest mit 20 Fragen im Multiple-Choice-Format beantworten zu können.

In den folgenden zwei Wochen wurde mit den jeweiligen digitalen bzw. den analogen Lernmaterialien in der Experimental- und der Kontrollgruppe weiter gelernt. Nach diesem Interventionszeitraum Tagen wurde der TCI-Posttest durchgeführt. Die Lernenden sollten sich mit demselben Wissenstest beschäftigen und 20 Fragen im Multiple-Choice-Format beantworten, diesmal aber ohne mediale Unterstützung. Gemessen wurde die Leistungsentwicklung durch den Vergleich der Ergebnisse der beiden Wissenstests (TCI-Pre- und Posttest).

Ziel der Vergleichsstudie war, zu untersuchen, inwieweit die Lernenden anwendbares Fachwissen erworben haben und ob ein Unterschied in der erreichten Lernleistung zwischen Experimentalgruppe und Kontrollgruppe feststellbar ist (siehe Tabelle 11).

6.2.1.1 Ergebnisse des TCI-Pretests

Eine Woche nach dem Test: Fachwissen „Wärmelehre“ erfolgte der TCI-Pretest. Hier war es die Aufgabe der Lernenden sich mit dem Selbstlernmodul (Experimentalgruppe: digital und Kontrollgruppe: analoge Lernmaterialien) zu beschäftigen, um im Anschluss den Wissenstest mit 20 Multiple-Choice beantworten zu können.

Mithilfe folgender statistischer Hypothese wird überprüft, ob die Experimentalgruppe eine größere Anzahl von Textaufgaben richtig gelöst hat.:

- **Nullhypothese:** Die mittleren Rangplätze zwischen Experimental- u. Kontrollgruppe unterscheiden sich nicht.
- **Alternativhypothese:** Die mittleren Rangplätze zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich.

Zur statistischen Überprüfung der Hypothese wurde der U-Test nach Mann & Whitney für 2 unabhängige Stichproben durchgeführt.

Auswertung: Stichprobe 1

Tab. 11: Vergleich Wissenstests- Experimental-, Kontrollgruppe (IGS)

Stichprobe 1	Test: Fachwissen „Wärmelehre“	TCI-Pretest	TCI-Posttest
Experimentalgruppe	2,0 (1,0)	10,0 (4,0)	10,0 (6,0)
Kontrollgruppe	2,0 (1,0)	10,0 (3,0)	9,0 (3,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Die Lernenden der Experimentalgruppe lösten durchschnittlich 10 Aufgaben im TCI-Pretest und die Lernenden der Kontrollgruppe lösten ebenfalls durchschnittlich 10 Aufgaben richtig. Wie bereits aus den Werten ersichtlich, unterscheiden sich die Lerngruppen nicht signifikant ($p = 0,88$) in der Anzahl richtig gelöster Textaufgaben (siehe Tabelle 2, Anhang A). Aus diesem Grund muss die Nullhypothese beibehalten werden.

Auswertung: Stichprobe 2

Tab. 12: Vergleich Wissenstests- Experimental-, Kontrollgruppe (Gymnasium)

Stichprobe 2	Test: Fachwissen „Wärmelehre“	TCI-Pretest	TCI-Posttest
Experimentalgruppe	3,0 (3,0)	10,5 (6,0)	9,5 (3,0)
Kontrollgruppe	2,0 (1,0)	11,0 (5,0)	9,0 (2,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Die Experimentalgruppe löste 10,5 Aufgaben richtig und die Kontrollgruppe beantwortete 11 Aufgaben richtig. Die statistische Überprüfung ergab, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant in ihrer erreichten Punktzahl unterscheiden ($p = 0,201$) (siehe Tabelle 2, Anhang B). Die Nullhypothese wird beibehalten.

6.2.1.2 Ergebnisse des TCI-Posttests

Zwei Wochen nach dem TCI-Pretest fand der TCI-Posttest statt. Zwischen den beiden Messzeitpunkten haben sich die Lerngruppen im Physikunterricht weiter mit dem Thema Wärmelehre beschäftigt, unter Zuhilfenahme der analogen (Kontrollgruppe) bzw. digitalen Lernmaterialien (Experimentalgruppe). Bei diesem Test hatten die Lernenden die Aufgabe, die 20 Textaufgaben des TCI-Pretests erneut zu lösen. Es standen den Lernenden keine unterstützenden Lernmaterialien zur Verfügung. Ziel war zu untersuchen, inwieweit neues Fachwissen verstanden worden ist und es zum Lösen von Textaufgaben selbständig angewendet werden kann.

Mithilfe folgender Hypothese soll überprüft werden, ob die Experimentalgruppe eine höhere Anzahl an Textaufgaben im TCI-Posttest gelöst hat.

- **Nullhypothese:** Die mittleren Rangplätze zwischen Experimental- u. Kontrollgruppe unterscheiden sich nicht.
- **Alternativhypothese:** Die mittleren Rangplätze zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich.

Zur statistischen Überprüfung der Hypothese wurde der U-Test nach Mann & Whitney für 2 unabhängige Stichproben durchgeführt.

Auswertung: Stichprobe 1

Die Lernenden der Experimentalgruppe lösten durchschnittlich 10 Aufgaben richtig und die Lernenden der Kontrollgruppe 9 Aufgaben. Die Lernenden der Experimentalgruppe lösten eine größere Anzahl von Textaufgaben richtig. Die statistische Auswertung (siehe Tabelle 3, Anhang A) ergab, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant ($p = 0,695$) unterscheiden. Im Ergebnis wird die Nullhypothese beibehalten.

Auswertung: Stichprobe 2

Die Lernenden der Experimentalgruppe lösten durchschnittlich 9,5 Textaufgaben und die Lernenden der Kontrollgruppe 9 Textaufgaben richtig. Die statistische Auswertung (siehe Tabelle 3, Anhang B) ergab, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant ($p = 0,217$) unterscheiden. Die Nullhypothese muss beibehalten werden.

6.2.1.3 Geschlechtsspezifische Ergebnisse der Wissenstests

Da sich die Lerngruppen beider Stichproben nicht signifikant in ihren Lernergebnissen unterscheiden, aber im Verhältnis der Geschlechter nicht ausgeglichen waren, wurde zusätzlich untersucht, ob geschlechtsspezifische Unterschiede feststellbar sind. Dazu wurde der „Lernerfolg“ an den drei Messzeitpunkten untersucht.

- Ziel des Tests „Fachwissen „Wärmelehre“ war, zu erfassen, ob sich die Lerngruppen geschlechtsspezifisch in ihrem Vorwissen signifikant unterscheiden.
- Ziel des TCI-Pretest-Vergleichs war, zu analysieren, ob es geschlechtsabhängige Unterschiede im Lernerfolg beim Lernen von Experimental- und Kontrollgruppe mit den jeweiligen Lernmedium (analog/digital) gibt.
- Ziel des TCI-Posttest-Vergleichs war, zu untersuchen, ob in Bezug auf die Behaltensleistung beim selbstgesteuerten Lernen ohne mediale Unterstützung, geschlechtsspezifische Unterschiede festgestellt werden können.

Auswertung der Stichprobe 1:

Tab. 13: Geschlechtsspezifischer Gruppenvergleich - Tests - Stichprobe 1

		Test: Fachwissen „Wärmelehre“ C₁	TCI- Pretest C₂	TCI- Posttest C₃
A₁(männlich)	B ₁ Experimentalgruppe	2,5	11,0	10,5
	B ₂ Kontrollgruppe	2,0	10,0	8,0
A₂(weiblich)	B ₁ Experimentalgruppe	1,5	9,0	8,5
	B ₂ Kontrollgruppe	2,0	10,5	10,0

Werte sind Mediane

Die männlichen Lerner der Experimentalgruppe lösten im Durchschnitt in allen drei Wissenstests eine größere Anzahl von Textaufgaben richtig als die männlichen Lernenden der Kontrollgruppe, die weiblichen Lernenden sowohl der Experimentalgruppe als auch der Kontrollgruppe. Der Geschlechtervergleich innerhalb der Experimentalgruppe zeigt, dass die männlichen Lernenden im Fachwissentest „Wärmelehre“ durchschnittlich eine Textaufgabe, im TCI-Pretest 2 Textaufgaben und im TCI-Posttest 2 Aufgaben, mehr richtig lösten. Der Geschlechtervergleich innerhalb der Kontrollgruppe zeigt, dass beide Geschlechter im Test: Fachwissen „Wärmelehre“ die gleiche Anzahl von Textaufgaben richtig gelöst haben. Im TCI-Pretest hingegen lösten die weiblichen Lernenden eine größere Anzahl (10,5) der Textaufgaben richtig als die männlichen Lernenden (10,0). Am größten ist der Unterschied nach dem TCI-Posttest zwischen den weiblichen (10,0) und männlichen Lernenden (8,0) der Kontrollgruppe (siehe Tabelle 13).

Auswertung der Stichprobe 2:

Tab. 14: Geschlechtsspezifischer Gruppenvergleich - Test - Stichprobe 2

		Test: Fachwissen „Wärmelehre“ C ₁	TCI- Pretest C ₂	TCI- Posttest C ₃
A₁(männlich)	B ₁ Experimentalgruppe	2,0	11,0	9,0
	B ₂ Kontrollgruppe	2,0	10,5	9,0
A₂(weiblich)	B ₁ Experimentalgruppe	3,0	10,0	10,0
	B ₂ Kontrollgruppe	3,0	11,0	10,0

Werte sind Mediane

Der Vergleich der Lerngruppen zeigt, dass die weiblichen Lernenden beider Lerngruppen im Test: Fachwissen „Wärmelehre“ mehr Textaufgaben richtig gelöst haben als die männlichen Lernenden. Im TCI-Pretest lösen die männlichen Lernenden der Experimentalgruppe und die weiblichen Lernenden der Kontrollgruppe die größte Anzahl an Textaufgaben richtig. Im TCI-Posttest erreichten die weiblichen Lernenden der Experimental- (10) und der Kontrollgruppe (10) bessere Ergebnisse als die männlichen Lernenden der Experimental- (9) und der Kontrollgruppe (9), siehe Tabelle 14.

Zur statistischen Überprüfung, ob der Unterschied im Lernerfolg innerhalb der Experimental- und der Kontrollgruppe vom Geschlecht abhängt, wurden Kruskal-Wallis-Tests für den Test: Fachwissen „Wärmelehre“- , den TCI-Pretest,- und den TCI-Posttest durchgeführt. Die Hypothese für alle drei Tests lautet:

- **Nullhypothese:** Die Stichprobengruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch in ihrem Lernerfolg.
- **Alternativhypothese:** Die Stichprobengruppen sind signifikant geschlechtsspezifisch verschieden.

Auswertung: Stichprobe 1

Der berechnete p-Wert laut dem Kruskal-Wallis-Test für den Fachwissenstest „Wärmelehre“ beträgt $p = 0,143$. Die Nullhypothese kann angenommen werden (siehe Tabelle 5, Anhang A). Die Lerngruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch bezüglich ihres Vorwissens. Der berechnete p-Wert nach dem Kruskal-Wallis-Test für den TCI-Pretest beträgt $p = 0,726$. Die Nullhypothese kann angenommen werden. Die Lerngruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch bezüglich ihres Lernerfolgs im TCI-Pretest (siehe Tabelle 6, Anhang A).

Der berechnete p-Wert nach dem Kruskal-Wallis-Test für den TCI-Posttest beträgt $p = 0,386$. Die Nullhypothese kann angenommen werden (siehe Tabelle 7, Anhang A). Die Lerngruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch bezüglich ihres Lernerfolgs im TCI-Posttest.

Auswertung: Stichprobe 2

Der berechnete p-Wert für den Test: Fachwissen „Wärmelehre“ beträgt $p = 0,148$. Die Nullhypothese kann angenommen werden (siehe Tabelle 5, Anhang B). Die Lerngruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch bezüglich ihres Vorwissens. Der berechnete p-Wert für den TCI-Pretest beträgt $p = 0,629$. Die Nullhypothese kann angenommen werden (siehe Tabelle 6, Anhang B). Die Lerngruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch bezüglich ihres Lernerfolgs im TCI-Pretest.

Der berechnete p-Wert für den TCI-Posttest beträgt $p = 0,242$. Die Nullhypothese kann angenommen werden (siehe Tabelle 7, Anhang B). Die Lerngruppen unterscheiden sich nicht geschlechtsspezifisch bezüglich ihres Lernerfolgs im TCI-Posttest.

Da es keine geschlechtsspezifischen signifikanten Unterschiede im Vorwissen und im Lernerfolg (TCI-Pretest und TCI-Posttest) der Lerngruppen (Experimental/Kontrollgruppe) beider Stichproben gibt, ist die interne Validität gegeben.

6.2.1.4 Korrelationsanalyse in Bezug der individuellen Lernvoraussetzungen auf den Lernerfolg

Um zu untersuchen, ob zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen und dem Lernerfolg ein Zusammenhang besteht, wird der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient ermittelt, um die folgende Hypothese zu überprüfen:

- **Nullhypothese:** Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen (Prädiktorvariablen) und dem Lernerfolg (Kriteriumsvariable) bestehen keine positiven Wechselbeziehungen.

- **Alternativhypothese:**

Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen (Prädiktorvariablen) und dem Lernerfolg (Kriteriumsvariable) bestehen positive Wechselbeziehungen.

Auswertung: Stichprobe 1

Die individuellen Lernvoraussetzungen korrelieren bei der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe nicht signifikant positiv mit dem Aspekt „Lernerfolg“ nach dem TCI-Pretest.

Auswertung: Stichprobe 2

Die individuellen Lernvoraussetzungen korrelieren bei der Experimentalgruppe nicht signifikant positiv mit dem Aspekt „Lernerfolg“ im TCI-Pretest (siehe Tabelle 13 und 14, Anhang A).

Bei der Kontrollgruppe konnte eine Korrelation zwischen dem Aspekt „Selbstwirksamkeit“ und dem Lernerfolg nach dem TCI-Pretest ($r = +0,422$) festgestellt werden, was einem geringen Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,045$) entspricht (siehe Tabelle 13, Anhang B).

6.2.2 Ergebnisse zum erlebten Handlungsspielraum in der Lernumgebung

Der individuell erlebte Handlungsspielraum wurde mithilfe der Variablen „Grad der erlebten Selbststeuerung“ erfasst. Das Personenmerkmal „Grad der Selbststeuerung“ ist eine wichtige Voraussetzung für den Prozess des selbstgesteuerten Lernens und wurde deshalb an zwei Messzeitpunkten (Test: Fachwissen „Wärmelehre“ und TCI-Posttest) erfasst. Ziel ist zu untersuchen, wie die Lernenden ihren Istzustand in Bezug auf ihre Selbststeuerungskompetenzen bewerten und wie sich der Wert nach dem Lernen in der jeweiligen Lernumgebung verändert hat.

Stichprobe 1:

Tab. 15: Personenmerkmal - Grad der erlebten Selbststeuerung - Gruppenvergleich (Stichprobe 1)

Grad der erlebten Selbststeuerung	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
1. Messzeitpunkt	1,75 (1,0)	1,50 (2,0)
3. Messzeitpunkt	1,50 (1,0)	2,50 (1,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Die digitale Lerngruppe (Experimentalgruppe) schätzte ihren Grad der erlebten Selbststeuerung bei der 1. Messung (Test: Fachwissen „Wärmelehre“) mit einem Wert von $Md = 1,75$ und bei der 2. Messung nach dem selbstgesteuerten Lernen mit dem digitalen Lernmodul mit einem Wert von $Md = 1,50$ (TCI-Posttest) ein, siehe Tabelle 15.

Die Kontrollgruppe bewertete den Grad an erlebter Selbststeuerung bei der 1. Messung mit einem Wert von $Md = 1,50$ und bei der 2. Messung (TCI-Posttest) hingegen nur noch mit einem Wert von $Md = 2,50$ ein, siehe Tabelle 15.

Die Lernenden der Experimentalgruppe bewerten nach der praktischen Erfahrung mit den digitalen Lernmaterialien ihren „Grad der erlebten Selbststeuerung“ höher als in ihrer theoretischen Selbsteinschätzung zum 1. Messzeitpunkt.

Die Lernenden der Kontrollgruppe bewerten dagegen ihren „Grad der Selbststeuerung“ nach der praktischen Erfahrung während des vierzehntägigen Interventionszeitraums niedriger als nach ihrer theoretischen Bewertung am 1. Messzeitpunkt.

Um zu untersuchen, ob sich die Lerngruppen in ihrer Veränderung signifikant unterscheiden, wurde zur statistischen Überprüfung ein Wilcoxon-Test für 2 abhängige Stichproben durchgeführt. Die Hypothese lautet:

- **Nullhypothese:** Die mittleren Rangplätze der Differenzen zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich nicht.
- **Alternativhypothese:** Die mittleren Rangplätze der Differenzen zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich.

Auswertung:

Die Lerngruppen (analog/digital) unterscheiden sich im Vergleich der Veränderung des Grades der Selbststeuerung signifikant ($p = 0,028$) (siehe Tabelle 8, Anhang A)

Die Alternativhypothese kann angenommen werden.

Stichprobe 2:

Tab. 16: Personenmerkmal - Grad der erlebten Selbststeuerung - Gruppenvergleich (Stichprobe 2)

Grad der erlebten Selbststeuerung	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
1. Messzeitpunkt	2,0 (1,0)	1,5 (1,0)
3. Messzeitpunkt	2,0 (0,5)	2,0 (1,0)

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Die digitale Lerngruppe (Experimentalgruppe) schätzte ihren Grad der erlebten Selbststeuerung bei der 1. und 2. Messung mit einem Wert von 2,0 ein. Die analoge Lerngruppe (Kontrollgruppe) bewertet bei der 1. Messung ihren Grad an erlebter Selbststeuerung mit 1,5. Bei der 2. Messung nach dem Lernen mit den analogen Lernmaterialien bewerteten die Lernenden den Grad der erlebten Selbststeuerung mit 2,0. Beide Lerngruppen schätzen nach dem vierzehntägigen Lernen mithilfe ihrer jeweiligen Medien ihren Grad der erlebten Selbststeuerung gleich ein.

Zur statistischen Überprüfung wurde ein Wilcoxon-Test für 2 abhängige Stichproben durchgeführt. Die Hypothese lautet:

- **Nullhypothese:** Die mittleren Rangplätze der Differenzen zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich nicht.
- **Alternativhypothese:** Die mittleren Rangplätze der Differenzen zwischen Experimental- und Kontrollgruppe unterscheiden sich.

Auswertung:

Die Lerngruppen (analog/digital) unterscheiden sich im Vergleich der Veränderung des Grades der erlebten Selbststeuerung signifikant ($p < 0,001$) (siehe Tabelle 8, Anhang B). Die Alternativhypothese kann angenommen werden.

6.2.3 Ergebnisse zur Selbstregulation während des Lernprozesses

Der Vergleich der Lerngruppen hinsichtlich ihrer Selbstregulation (metakognitive und motivationale Lernstrategien) während des Lernprozesses erfolgte mithilfe der Skalen Ausdauer, Umgang mit Fehlern, Planvolles Handeln, Eigeninitiative und Lernzielkontrolle. Ziel ist festzustellen, inwieweit sich die Lerngruppen in der Selbstregulation unterscheiden und ob Wechselbeziehungen zwischen der Selbstregulation und dem Lernerfolg bestehen, um Fördermaßnahmen ableiten zu können.

Stichprobe 1:

Tab. 17: Vergleich der Lerngruppen - Lernverhalten - Stichprobe 1

Skala	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
Lernzielkontrolle	1,75 (0,5)	2,00 (0,5)
Umgang mit Fehlern	2,50 (0,5)	2,50 (1,0)
Ausdauer	2,50 (0,5)	3,00 (1,0)
Planvolles Handeln	2,50 (0,5)	3,00 (2,0)
Eigeninitiative	2,00 (1,0)	2,00 (1,0)
Gesamtwert	2,25	2,50

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Auswertung:

Die Lerngruppen unterscheiden sich in drei Aspekten, der Lernzielkontrolle, die von den Lernenden der Experimentalgruppe ($Md = 1,75$) besser bewertet wurde als von der Kontrollgruppe ($Md = 2,00$) der Ausdauer, die ebenfalls von der Experimentalgruppe ($Md = 2,50$) besser bewertet wurde als von Kontrollgruppe ($Md = 3,00$) und dem Planvollen Handeln, das von der Experimentalgruppe ($Md = 2,50$) besser bewertet wurde als von der Kontrollgruppe ($Md = 3,00$), siehe Tabelle 17.

Um zu untersuchen, ob zwischen den Aspekten der Selbstregulation und dem Lernerfolg ein Zusammenhang besteht, wird der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient ermittelt, um die folgende Hypothese zu überprüfen:

- **Nullhypothese:** Zwischen den Aspekten der Selbstregulation und dem Lernerfolg bestehen keine positiven Wechselbeziehungen.
- **Alternativhypothese:** Zwischen den Aspekten der Selbstregulation und dem Lernerfolg bestehen positive Wechselbeziehungen.

Bei der Experimentalgruppe konnten folgende Korrelationen festgestellt werden:

1. Die Skala „Planvolles Handeln“ korreliert positiv mit der Skala „Eigeninitiative“ ($r = +0,797$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen hohen Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,002$), siehe Tabelle 14, Anhang A.
2. Die Skala „Ausdauer“ korreliert negativ mit der Skala „Lernzielkontrolle“ ($r = -0,680$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,015$), siehe Tabelle 14, Anhang A.

Bei der Kontrollgruppe konnten folgende Korrelationen festgestellt werden:

1. Die Skala „Ausdauer“ korreliert positiv mit der Skala „Planvolles Handeln“ ($r = +0,785$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen hohen Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,004$), siehe Tabelle 15, Anhang A.
2. Die Skala „Ausdauer“ korreliert positiv mit der Skala „Eigeninitiative“ ($r = +0,648$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,031$), siehe Tabelle 15, Anhang A.
3. Die Skala „Ausdauer“ korreliert positiv mit der Skala „Lernerfolg TCT-Pretest“ ($r = +0,650$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,030$), siehe Tabelle 15, Anhang A.

Die Alternativhypothese kann angenommen werden.

Stichprobe 2:

Tab. 18: Vergleich der Lerngruppen - Lernverhalten - Stichprobe 2

Skala	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
Lernzielkontrolle	2,0 (0,5)	2,0 (0,5)
Umgang mit Fehlern	2,0 (1,0)	2,5 (0,5)
Ausdauer	3,0 (0,5)	2,0 (1,0)
Planvolles Handeln	2,0 (1,5)	2,0 (1,5)
Eigeninitiative	2,0 (1,5)	2,0 (0)
Gesamtwert	2,2	2,1

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Auswertung:

Die Lerngruppen unterscheiden sich in zwei Aspekten, der Ausdauer, die von den Lernenden der Kontrollgruppe ($Md = 2,0$) besser bewertet wurde als von der Experimentalgruppe ($Md = 3,0$) und dem Umgang mit Fehlern, die von der Experimentalgruppe ($Md = 2,0$) besser bewertet wurde als von der Kontrollgruppe ($Md = 2,5$). In beiden Stichproben schätzten die Lernenden die Aspekte „Ausdauer“ und „Umgang mit Fehlern“ am schlechtesten ein. Um zu

untersuchen, ob zwischen den Aspekten der Selbstregulation und dem Lernerfolg ein Zusammenhang besteht, wird der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient ermittelt, um die folgende Hypothese zu überprüfen:

- **Nullhypothese:** Zwischen den Wechselbeziehungen.
- **Alternativhypothese:** Zwischen den Aspekten der Selbstregulation und dem Lernerfolg bestehen positive Wechselbeziehungen.

Bei der Experimentalgruppe konnten folgende Korrelationen festgestellt werden:

1. Die Skala „Planvolles Handeln“ korreliert positiv mit der Skala „Eigeninitiative“ ($r = +0,525$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,012$), siehe Tabelle 14, Anhang B.
2. Die Skala „Planvolles Handeln“ korreliert positiv mit der Skala „Lernzielkontrolle“ ($r = +0,482$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen geringen Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,023$), siehe Tabelle 14, Anhang B.
3. Die Skala „Planvolles Handeln“ korreliert positiv mit der Skala „Umgang mit Fehlern“ ($r = +0,580$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,005$), siehe Tabelle 14, Anhang B.
4. Die Skala „Umgang mit Fehlern“ korreliert positiv mit der Skala „Eigeninitiative“ ($r = +0,512$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,015$), siehe Tabelle 14, Anhang B.

Bei der Kontrollgruppe konnte die folgende Korrelation festgestellt werden:

- Die Skala „Lernzielkontrolle“ korreliert negativ mit der Skala „Lernerfolg im TCI-Pretest“ ($r = -0,448$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen geringen Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,032$), siehe Tabelle 15, Anhang B.

Es bestehen Wechselbeziehungen sowohl zwischen den Aspekten der Selbstregulation als auch zwischen den Aspekten und dem Lernerfolg. Die Alternativhypothese kann angenommen werden.

6.2.4 Ergebnisse hinsichtlich der Mediengestaltung

Die „Mediengestaltung“ wurde mithilfe von zwei Aspekten erfasst. Der erste Aspekt ist die „Benutzerfreundlichkeit“ als praktische Erfahrung beim Lernen in der jeweiligen Lernumgebung und der zweite Aspekt ist die „Nützlichkeit“. Hier ist die Besonderheit, dass die Einschätzung, ob die Lerninhalte effektiv mit digitalen Medien vermittelt werden können, eine praktische Erfahrung bei der Experimentalgruppe und eine theoretische Einschätzung in der Kontrollgruppe sind. Durch zwei Untersuchungen wurde die Mediengestaltung erfasst. Mithilfe der 1. Analyse wurde untersucht, ob sich die beiden Lerngruppen (Experimental-

Kontrollgruppe) in den Bewertungen ihrer Lernumgebung (digital/analog) unterscheiden. Durch die 2. Analyse wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Mediengestaltung und dem Lernerfolg gibt.

Stichprobe 1:

Tab. 19: Vergleich der Lerngruppen - Mediengestaltung - Stichprobe 1

Skala	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
Benutzerfreundlichkeit	2,0 (0,5)	2,5 (1,5)
Nützlichkeit des digitalen Mediums als Arbeitsmittel	2,0 (1,0)	1,5 (2,0)
Gesamtwert	2,0	2,0

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Auswertung:

Der Teilaspekt „Benutzerfreundlichkeit“ wurde von der Experimentalgruppe ($Md = 2,0$) besser bewertet als von der Kontrollgruppe ($Md = 2,5$). Der Aspekt der Nützlichkeit des digitalen Mediums als Arbeitsmittel wurde von der Kontrollgruppe ($Md = 1,5$) besser bewertet als von der Experimentalgruppe ($Md = 2,0$). Um zu untersuchen, ob zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg ein Zusammenhang besteht, wird der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient berechnet, um die folgende Hypothese zu überprüfen:

- **Nullhypothese:** Zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg bestehen keine positiven Wechselbeziehungen.
- **Alternativhypothese:** Zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg bestehen positive Wechselbeziehungen.

Bei der Experimentalgruppe konnten folgende Korrelationen festgestellt werden:

- Die Skala „Benutzerfreundlichkeit“ korreliert negativ mit dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = -0,668$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,018$), siehe Tabelle 16, Anhang A.
- Die Skala „Lernerfolg im TCI-Pretest“ korreliert positiv mit dem „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = +0,662$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,019$), siehe Tabelle 16, Anhang A.

Da keine positiv signifikanten Wechselbeziehungen zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg (TCI-Pre- und Posttest) bestehen, wird die Nullhypothese beibehalten.

Bei der Kontrollgruppe konnten folgende Korrelationen festgestellt werden:

- Die Skala „Nützlichkeit“ korreliert positiv mit der Skala „Benutzerfreundlichkeit“ ($r = +0,801$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen hohen Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,003$), siehe Tabelle 17, Anhang A.

- Die Skala „Nützlichkeit“ korreliert positiv mit der Skala und „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = +0,665$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,025$), siehe Tabelle 17, Anhang A.

Es bestehen positiv signifikante Wechselbeziehungen zwischen der Mediengestaltung und dem Aspekt „Lernerfolg“ bei der Kontrollgruppe. Die Alternativhypothese kann angenommen werden.

Stichprobe 2:

Tab. 20: Vergleich der Lerngruppen - Mediengestaltung - Stichprobe 2

Skala	Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
Benutzerfreundlichkeit	2,50 (0,5)	2,50 (1,0)
Nützlichkeit des digitalen Mediums als Arbeitsmittel	3,00 (1,0)	1,50 (1,5)
Gesamtwert	2,75	2,00

Werte sind Mediane; (Interquartilsabstand)

Auswertung:

Der Teilaspekt „Benutzerfreundlichkeit“ wurde von den beiden Lerngruppen gleich bewertet ($Md = 2,5$). Der Aspekt der Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel wurde von der Kontrollgruppe ($Md = 1,5$) besser bewertet als die Experimentalgruppe ($Md = 3,0$).

Um zu untersuchen, ob zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg ein Zusammenhang besteht, wird der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient berechnet, um die folgende Hypothese zu überprüfen:

- **Nullhypothese:** Zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg bestehen keine positiven Wechselbeziehungen.
- **Alternativhypothese:** Zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg bestehen positive Wechselbeziehungen.

Bei der Experimentalgruppe konnten folgende Korrelationen festgestellt werden:

1. Der Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ korreliert positiv mit dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ ($r = +0,525$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,012$), siehe Tabelle 16, Anhang B.
2. Der Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ korreliert positiv mit dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = +0,440$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,040$), siehe Tabelle 16, Anhang B.
3. Der Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ korreliert positiv mit dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = +0,616$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,002$), siehe Tabelle 16, Anhang B.

Es bestehen positive Wechselbeziehungen zwischen der Mediengestaltung und dem Aspekt „Lernerfolg“. Die Alternativhypothese kann angenommen werden.

Bei der Kontrollgruppe konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und dem Lernerfolg festgestellt werden, siehe Tabelle 17, Anhang B. Die Nullhypothese bleibt bestehen.

6.2.5. Ergebnisse der Lernstiltypengruppenanalyse

Um den Einfluss des Lernstiltyps nach Kolb auf die Leistungsentwicklung der Lernenden zu untersuchen, werden die Effekte und Wechselwirkungen im Lernprozess erfasst.

Ziel ist, die Unterschiede im Lernverhalten stärker bei der Gestaltung von digitalen Lernumgebungen zu berücksichtigen.

6.2.5.1 Analyse der Lernstilgruppen hinsichtlich des Lernerfolgs in den Wissenstests

Die Tabellen 21 (Experimentalgruppe) und 22 (Kontrollgruppe) zeigen die lernstilabhängige Auswertung der Wissenstests. Den Lernenden wurde ihr Lernstiltyp bei Interesse mitgeteilt.

Eine Auswertung des gesamten Tests mit Vorschlägen für einen zukünftigen lernstilorientierten Unterricht wurde an die Physiklehrer übergeben.

Stichprobe 1:

Tab. 21: Stichprobe 1 - IGS - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Experimentalgruppe

Experimentalgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	2,75	2,00	2,00	2,25
TCl-Pretest	11,75	8,50	7,50	11,00
TCl-Posttest	11,50	9,50	6,50	9,75
Gesamtpunktzahl (Wissenstests)	26,00	20,00	16,00	23,00

Werte sind Mittelwerte; N=12

Tab. 22: Stichprobe 1 - IGS - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	2,25	2,30	2,00	1,70
TCl-Pretest	8,00	9,70	11,00	10,30
TCl-Posttest	8,75	9,00	10,00	9,70
Gesamtpunktzahl (Wissenstests)	19,00	21,00	23,00	21,70

Werte sind Mittelwerte; N=11

Auswertung:

Bei der Experimentalgruppe haben die Akkomodierer (26) und die Konvergierer (23) die höchste Punktzahl in den Wissenstests erreicht (siehe Tabelle 21). Diese beiden Lernstiltypen bevorzugen das entdeckende Lernen mit praktischen Beispielen. Sie sind motiviert, wenn sie selbstgesteuert lernen können, deshalb bietet ihnen das digitale Selbstlernmodul einen guten Einstieg in die Erarbeitung des Themas und die selbstständige

Lösungssuche. Ihnen kommt diese offene Lernform entgegen. Das zeigt sich auch in ihrer hohen Bewertung des erlebten Grades der Selbststeuerung (Akkomodierer: 1,375; Konvergierer: 1,75), siehe Tabelle 25. Obwohl die Lernenden laut eigenen Aussagen noch nicht mit digitalen Medien gelernt haben, profitieren die zwei Lernstiltypen am stärksten, die sich dem Thema entdeckend nähern, was sich im Lernerfolg und dem Grad der Selbststeuerung zeigt. Divergierer und Assimilierer nähern sich dagegen eher theoretisch dem Lernstoff. Sie konnten sich über Fachwissen mithilfe des Selbstlernmoduls mit den Themen beschäftigen. Sie erreichten die Assimilierer mit 20 und die Divergierer mit 16 Punkten einen niedrigeren Wert (siehe Tabelle 21). Auch ihren Grad der erlebten Selbststeuerung schätzten beide Lernstiltypen schlechter ein, Assimilierer mit einem Wert von 1,875 und Divergierer mit einem Wert von 2,0 (siehe Tabelle 39). Bei der Kontrollgruppe haben die Divergierer (23) und die Konvergierer (21,7) die höchsten Punkte erreicht, unterscheiden sich aber im Wert nicht sehr stark von den anderen beiden Lernstilgruppen, den Assimilierern (21) und den Akkomodierer (19) (siehe Tabelle 22). Das homogenere Ergebnis erklärt sich aus der Tatsache, dass die Lernenden das Lernen mit analogen Medien gewohnt sind und alle diese Herangehensweise kennen. Interessant ist hier aber festzustellen, dass die Akkomodierer am schlechtesten abschneiden, weil sie ihren Vorlieben, aktiv zu sein und etwas auszuprobieren zu können, nur eingeschränkt mit analogen Lernmedien nachkommen können. Gerade an diesem Lernstiltyp zeigt sich, wie wichtig die Berücksichtigung der Lernpräferenzen ist. Wie die Tabellen 7 und 8 deutlich zeigen, bestehen beide Lerngruppen aus verschiedenen Lerntypen, die je nach ihren Lernpräferenzen von ihrer Lernumgebung profitieren, da sie unterschiedlich beim Lernen vorgehen (Haman, 2012). Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass alle Lernenden selbstgesteuert Fachwissen aufbauen konnten und ihr Wissen angewendet haben beim Lösen der Textaufgaben, wie die Ergebnisse im TCI-Posttest zeigen.

Stichprobe 2:

Tab. 23: Stichprobe 2 - Gymnasium - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Experimentalgruppe

Experimentalgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	2,00	2,90	-	2,20
TCI-Pretest	12,30	10,40	-	9,90
TCI-Posttest	11,30	9,10	-	9,60
Summen	25,60	22,40	-	21,70

Werte sind Mittelwerte; N=22

Tab. 24: Stichprobe 2 - Gymnasium - Lernstiltypen - Vergleich Wissenstest - Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	2,00	2,10	1,00	2,00
TCl-Pretest	9,50	8,70	11,00	10,40
TCl-Posttest	9,00	9,40	2,00	8,80
Summen	20,50	20,20	14,00	21,20

Werte sind Mittelwerte; N=23

Auswertung:

Bei der Experimentalgruppe haben die Akkomodierer (25,6) die höchste Punktzahl in den Wissenstests erreicht. Dieser Lernstiltyp bevorzugt das entdeckende Lernen mit praktischen Beispielen. Dieser Lernstilgruppe kommt die digitale Lernumgebung entgegen.

Die Assimilierer (22,4) und Konvergierer (21,7) erreichen ein ähnliches Ergebnis (siehe Tabelle 23). Assimilierer setzen sich eher theoretisch mit dem Lernstoff auseinander. Sie konnten sich über theoretisches Fachwissen mithilfe des Selbstlernmoduls den Themen nähern. Konvergierer wollen experimentieren, brauchen aber auch theoretisches Wissen über ein Thema. Sie konnten sich dem Thema theoretisch nähern, konnten aber auch ausprobieren. Für diese Lernstilgruppe sollten im Re-Design interaktive Übungen implementiert werden.

Bei der anlogenen Lerngruppe erreichen die Konvergierer (21,2) die höchste Punktzahl in den Wissenstest. Die Lernenden der Lernstilgruppe Akkomodierer (20,5) und Assimilierer (20,2) erreichten ein ähnlich gutes Ergebnis wie die Konvergierer. Nur die Lernstilgruppe der Divergierer erreichen ein schlechteres Ergebnis mit 14 Punkten.

Bei der Lernstilgruppe der Divergierer ist der große Unterschied zwischen dem Post- und dem TCl-Posttest auffällig. Während die Lernenden im TCl-Pretest die meisten Textaufgaben (11), im Vergleich zu den anderen Lernstilgruppen, lösten, erreichten sie im TCl-Posttest das schlechteste Ergebnis mit nur 2 richtig gelösten Aufgaben.

Für diese Lernstilgruppe sollten also unterstützende Lernmaterialien länger zur Verfügung gestellt werden. Ebenfalls wurde festgestellt, dass die individuelle Lernvoraussetzung „Selbstwirksamkeit“ von der Lernstilgruppe am schlechtesten beurteilt wird. Die Überzeugung, bezüglich der eigenen Fähigkeiten, bestimmt ob und wie eine Aufgabe gelöst wird. Diese Beobachtung zeigt, dass der effektive Einsatz von Medien im Zusammenhang mit den individuellen Lernvoraussetzungen und den Aspekten des Lernverhaltens (Lernstiltyp, metakognitive Lernstrategien) untersucht werden muss, um nicht falsche Schlussfolgerungen bezüglich der Effektivität einer Lernmethode zu ziehen und um aus den Ergebnissen, geeignete Fördermaßnahmen ableiten zu können.

6.2.5.2 Analyse der Lernstilgruppen in Bezug auf die Befragungen

Neben der Erfassung der lernstilabhängigen Leistungsentwicklung beim Lernen mit Medien (digital/analog) war es wichtig zu analysieren, worin die Unterschiede im Lernverhalten bestehen. Das Wissen um die Unterschiede ist zentral, um eine Lernumgebung didaktisch optimal gestalten zu können. Besonders bei der Gestaltung von digitalen Lernumgebungen ist dieses Wissen notwendig, weil hier das Programm (Selbstlernmodul) die Vermittlung des Lernstoffs übernimmt (Haman, 2012). Die Lernstilgruppen unterscheiden sich in Bezug auf die Herangehensweise an den Lernstoff und aufgrund psychologischer Merkmale.

Aus diesem Grund wurden die folgenden Aspekte untersucht:

1. Mediengestaltung
2. Selbstregulation (metakognitive Lernstrategien)
3. Motivationale und volitionale Aspekte
4. Erlebter Grad der Selbststeuerung

Stichprobe 1: Experimentalgruppe

Tab. 25: Untersuchung 1 - IGS - Befragung - Experimentalgruppe

Experimentalgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	4,000	2,000	2,000	4,000
Mediengestaltung	1,500	2,000	2,000	2,000
Selbstregulation	2,000	2,500	2,500	2,250
Motivationale und volitionale Aspekte	2,125	2,375	2,250	2,125
Grad der erl. Selbststeuerung	1,375	1,875	2,000	1,750
Summe der Skalen	7,000	8,750	8,750	8,125
Summe der Lernleistungen	26,00	20,00	16,00	23,00

Werte sind Mittelwerte; N=12

Auswertung:

Die Akkomodierer, die das beste Lernergebnis erreicht haben, schätzen alle vier Aspekte im Vergleich der Lernstilgruppen am besten ein. Für ihr Lernverhalten ist die gestaltete Lernumgebung optimal. Das zweitbeste Lernergebnis erreichten die Konvergierer, die auch die zweitbeste Einschätzung der individuellen Aspekte abgegeben haben. Das drittbeste Ergebnis in den Wissenstests erreichten die Assimilierer und das schlechteste Lernergebnis die Divergierer. Beide Lerngruppen gaben durchschnittlich die gleiche Einschätzung der Aspekte ab. Diese Lernenden nähern sich einem Lernstoff theoretisch an und da sie es bis jetzt gewohnt sind, in instruktiver Form zu lernen, müssen sie sich erst auf das Lernen mit digitalen Medien umstellen. Interessant ist, dass die Lernenden dieser beider Lerngruppen ihre Fähigkeiten selbständig lernen zu können, besser einschätzen als ihr Wissen zu Lernstrategien. Ebenfalls zeigt sich bei beiden Lerngruppen ein negativer Zusammenhang

zwischen den metakognitiven Lernstrategien und den motivationalen und volitionalen Aspekten. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass den Lernenden, vor dem Lernen mit einem Selbstlernmodul, Wissen zu Lernstrategien vermittelt werden sollte.

Beim 3. Aspekt zeigt sich ein homogenes Ergebnis zwischen den vier Lernstilgruppen. Die durchschnittliche Bewertung mit „gut“ stimmt sehr optimistisch, denn alle Lernstiltypen sind motiviert, wenn sie mit digitalen Medien lernen können. Ihrer erlebten Grad der Selbststeuerung schätzen auch alle Lerngruppen durchschnittlich zwischen gut und sehr gut ein, was eine grundlegende Voraussetzung ist, um den eigenen Handlungsspielraum während des Lernprozesses zu nutzen.

Stichprobe 1: Kontrollgruppe

Tab. 26: Untersuchung 1 - IGS - Befragung - Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	3	4	1	3
Mediengestaltung	1,50	2,00	3,50	1,00
Selbstregulation	2,00	2,00	2,50	3,00
Motivationale und volitionale Aspekte	2,25	2,00	3,75	2,50
Grad der erl. Selbststeuerung	1,75	1,8	3,25	2,00
Summe der Skalen	7,50	7,75	13,0	8,50
Summe der Lernleistungen	19,00	21,00	23,00	21,70

Werte sind Mittelwerte; N=11

Auswertung:

Die Akkomodierer erreichen das schlechteste Lernergebnis, der einzelne Divergierer das beste Ergebnis, ganz im Gegensatz zu den Ergebnissen der gleichen Lernstiltypen der Experimentalgruppe. Das zeigt, wie wichtig es ist, dass den Lernenden die Möglichkeit geboten wird, sich nach ihren Lernpräferenzen, auch in Bezug auf das Medium, dem Lernstoff zu nähern. Der Divergierer, der das beste Lernergebnis erreicht, bewertet die Mediengestaltung mit 3,5 am schlechtesten (siehe Tabelle 26). Hier ist es notwendig zu erfragen, ob eine digitale Lernumgebung für das Lernen für ihn von Vorteil wäre und ob er dann motivierter wäre, selbstgesteuert zu lernen. Da diese Lernstilgruppe nur aus einem Lernenden besteht, ist eine aussagekräftige Bewertung der Lerngruppe „Divergierer“ nicht möglich. Andererseits zeigt sich, dass es, aufgrund der Lernstilgruppenerfassung möglich wird, leichter individuelle Untersuchungen anzuschließen, um Lernerprofile zu erstellen. Die Konvergierer bewerten die Mediengestaltung am besten und erreichten auch das zweitbeste Lernergebnis. Die Assimilierer bewerten die vier Aspekte in der Summe am besten und erreichten das drittbeste Lernergebnis in den Wissenstests.

Auch hier ist zu beobachten, dass die Lernenden, die ihr Wissen über Lernstrategien schlechter einschätzen, auch ihre motivationalen und volitionalen Strategien schlechter einschätzen. Es stützt die Annahme, dass den Lernenden in regelmäßigen Abständen ein Modul zu Lernstrategien angeboten werden sollte.

Stichprobe 2: Experimentalgruppe

Tab. 27: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Experimentalgruppe

Experimentalgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	6	7	-	9
Mediengestaltung	2,3	2,0	-	2,3
Selbstregulation	3,2	2,0	-	1,7
Motivationale und volitionale Aspekte	2,8	2,0	-	2,2
Grad der erl.				
Selbststeuerung	2,8	2,0	-	1,9
Summe der Skalen	11,1	8,0	-	8,1
Gesamtpunktzahl (Wissenstests)	25,6	22,4	-	21,7

Werte sind Mittelwerte; N=22

Auswertung:

Die Akkomodierer, die das beste Lernergebnis erreicht haben, schätzen alle vier Aspekte am schlechtesten im Vergleich der Lernstilgruppen ein. Die Assimilierer und Konvergierer unterscheiden sich kaum in ihrem Lernerfolg und in ihrer Bewertung der vier Aspekte. Die Mediengestaltung wird von den Assimilierern am besten bewertet (2,0). Die beiden anderen Lernstilgruppen bewerteten diesen Aspekt mit dem gleichen Wert (2,3), was im Ergebnis bedeutet, dass die Lernenden mithilfe einer digitalen Lernumgebung ihr Lernziel erreichen konnten (siehe Tabelle 27). Beim Aspekt Selbstregulation zeigen sich die größten Unterschiede zwischen den Lernstiltypengruppen. Während die Konvergierer und Assimilierer über Lernstrategien verfügen, fehlen diese bei der Gruppe der Akkomodierer (3,2). Die Bewertung der Akkomodierer entspricht diesem Lernstiltyp, denn sie probieren lieber Neues aus, ohne sich mit Lernstrategien auseinanderzusetzen.

Die Aspekte Motivation und Grad der Selbststeuerung werden von den Assimilierern jeweils mit 2,0 und von den Konvergierer mit 2,2 und 1,9 bewertet.

Die Akkomodierer bewerten dagegen beide Aspekte mit 2,8. Als volitionaler Aspekt wird von den Lernenden dieser Gruppe der Aspekt „Ausdauer“ am schlechtesten bewertet. Für diese Gruppe sollte das Selbstlernmodul mit Simulationen erweitert werden, dass sie ausdauernder lernen. Das würde auch ihre Gestaltungsmöglichkeiten erhöhen und damit ihren erlebten Grad an Selbststeuerung.

Stichprobe 2: Kontrollgruppe

Tab. 28: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	2	9	1	8
Mediengestaltung	2,0	1,8	2,0	1,6
Selbstregulation	2,0	1,8	2,0	2,2
Motivationale und volitionale Aspekte	2,4	2,2	1,75	2,1
Grad der erl. Selbststeuerung	2,0	1,8	2,25	2,1
Summe der Skalen	8,4	7,6	8,0	8,0
Gesamtpunktzahl (Wissenstest)	20,5	20,2	14,0	21,15

Werte sind Mittelwerte; N=23

Auswertung:

Die Konvergierer erreichten bei den Lerntests die besten Ergebnisse (21,15), unterscheiden sich aber kaum im Ergebnis von den Akkomodierer (20,5) und Konvergierer (20,2).

Am schlechtesten schneidet der eine Divergierer (14,0) ab. Ein Grund für das schlechte Abschneiden könnte in der Bewertung des Aspekts „Grad der Selbststeuerung“ (2,25) liegen. Auch hier wäre es interessant zu erfragen, ob eine digitale Lernumgebung seinen Handlungsspielraum verbessert hätte.

Die Konvergierer (1,6) und Assimilierer (1,8) bewerten die Mediengestaltung am besten. Die beiden anderen Lernstilgruppen mit einem Wert von 2,0. Den Aspekt „Lernstrategien“ bewerten alle vier Lernstilgruppen mit 2,0. Da die Lernenden glauben, dass Lernstrategien wichtig für den Lernprozess sind, sollten sie regelmäßig durch Module zu Lernstrategien unterstützt werden. Der Aspekt Motivation wird von dem Divergierer am besten bewertet. Da es aber nur ein Lernender ist, hat dieser Wert wenig Aussagekraft, sondern sollte in zukünftigen Untersuchungen beurteilt werden. Die anderen Lernstiltypengruppen bewerten ihre Motivation durchschnittlich mit 2,0 (siehe Tabelle 28).

Der Aspekt Grad der Selbststeuerung wird von den Assimilierer am besten bewertet (1,8). Die anderen drei Lernstilgruppen bewerten diesen Aspekt etwa gleich mit einem Wert von 2,0. Die Lernstilanalyse zeigt, dass sich die Lerngruppen heterogen zusammensetzen, das heißt sie gehen unterschiedlich beim Lernen vor. Aus diesem Grund sollten unterschiedliche Zugangswege zum Lernstoff in der Lernumgebung angeboten werden.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse zu den Forschungsfragen diskutiert, um die zentrale Forschungsfrage zur Lösung des Transferproblems zu beantworten. Des Weiteren werden offene Fragen angesprochen, um Maßnahmen für das Re-Design (vgl. Kapitel 8) ableiten zu können.

7 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des DBR-Forschungsansatz auf Grundlage der theoretischen Ansätze diskutiert, um fachdidaktische und mediengestalterische Konsequenzen für die Weiterentwicklung von integrierten, problemorientierten Lernumgebungen ableiten zu können. Zuerst werden die Ziele der quasi-experimentellen Feldstudie zusammenfassend dargestellt. Dann werden die Forschungsfragen in der Reihenfolge des Ergebnisteils diskutiert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden danach analysiert, um ein Re-Design für die Lernumgebung (2. Zyklus) zu entwickeln, welches dann in einem zukünftigen Forschungsvorhaben erprobt wird.

Ziel des zyklischen Vorgehens ist, eine Lernumgebung durch theoretische Forschung zu entwickeln, unter praktischen Bedingungen zu erproben, dynamisch anzupassen bis sie lernwirksam und problemlos im Unterricht eingesetzt werden kann.

7.1 Fragestellungen und Ziele

Um das Transferproblem der begrenzten Anwendung des erworbenen Wissens zu untersuchen, wurde das Wirkungsgefüge des schulischen Wissenserwerb betrachtet. Das Angebots-Nutzungs-Modell von Helmke (2015) fasst die relevanten Einflussfaktoren zusammen, die für den Lernerfolg der Lernenden von Bedeutung sind. Neben den Merkmalen der Lehrperson, den Voraussetzungen der Lernenden, sind die Merkmale des Unterrichts von Bedeutung. Zu den Merkmalen des Unterrichts gehören neben der Lernzeit, der Unterrichtsqualität, auch die Gestaltung der angebotenen Lernmaterialien (Nerdel, 2017). Um das Transferproblem zu lösen, wurde auf Basis der Forschungsergebnisse eine integrierte Lernumgebung entwickelt, bei der mehrere Einflussfaktoren verändert wurden (vgl. Kapitel 3.3). Da die Aspekte sich wechselseitig bedingen, werden sie durch den Design-Based-Research Forschungsansatz untersucht, um die Ergebnisse zyklisch weiterzuentwickeln. In dieser Arbeit werden die Merkmale des Unterrichts, schwerpunktmäßig die Gestaltung von Lernmaterialien für die Lernumgebung, betrachtet.

Aufgrund der gewonnenen fachdidaktischen und mediengestalterischen Forschungsergebnisse wurde eine integrierte, problemorientierte Lernumgebung mit digitalen Lernmaterialien gestaltet. Diese wurde innerhalb der quasi-experimentellen Feldstudie praktisch erprobt durch zwei Untersuchungen an verschiedenen Schulformen (IGS und Gymnasium). Ziel war einerseits zu prüfen, inwieweit individuelle Unterschiede im medialen Nutzungsverhalten auftreten und um andererseits herauszufinden, ob es schulformabhängige Unterschiede beim Lernen in der gestalteten Lernumgebung gibt. Dazu war es notwendig, die individuellen Lernvoraussetzungen durch eine Selbsteinschätzung der Lernenden (vgl. Kapitel 6.1.3) und das Vorwissen durch einen Textaufgabentest (vgl. Kapitel 6.1.1) vor dem Treatment zu erfassen.

Da die Lernumgebung in selbstgesteuerten Unterrichtsphasen eingesetzt wird, wurde der Lernstil der Lernenden erfasst, um zu untersuchen, ob die Lernenden mit unterschiedlichem Lernverhalten in der Lernumgebung gleichermaßen lernen können (vgl. Kapitel 6.1.2).

Die Erkenntnisse aus der quasi-experimentellen Feldstudie sollen die zentrale Fragestellung: „Kann die gestaltete integrierte Lernumgebung „Wärmelehre“ zum selbstgesteuerten Problemlösen anregen und durch den zweiwöchigen Einsatz im Physikunterricht die Problemlösefähigkeiten der Lernenden fördern?“ beantworten.

Um die Wirksamkeit der gestalteten, integrierten Lernumgebung feststellen zu können, wurde eine quasiexperimentelle Vergleichsstudie durchgeführt. Die Experimentalgruppe lernte mit digitalen Lernmaterialien und die Kontrollgruppe lernte mit analogen Lernmaterialien nach dem gleichen Unterrichtskonzept.

Während eines Vortermins wurde den Lernenden der Experimentalgruppen die Handhabung der Tablet-PCs erklärt, damit ihnen kein zeitlicher Nachteil entstand.

In der vorliegenden Arbeit wurde mithilfe eines quasi-experimentellen Designs untersucht, inwieweit die gestaltete Lernumgebung, selbstgesteuertes Lernen in Einzelarbeit erlaubt und ob Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen, Vorwissen und Lernverhalten davon gleichermaßen profitieren. In der Voranalyse konnte festgestellt werden, dass die Lerngruppen beider Stichproben sich in ihrem Vorwissen nicht signifikant unterscheiden (vgl. Kapitel 6.1.1). In Bezug auf das Lernverhalten wurde ermittelt, dass sich beide Stichproben heterogen zusammensetzen (vgl. Kapitel 6.1.2). Selbst in kleinen Lerngruppen sind fast alle Lernstiltypen vertreten. Die Erfassung der individuellen Lernvoraussetzungen zeigte keine signifikanten Abweichungen zwischen den Lerngruppen (Experimental- und Kontrollgruppe) beider Stichproben. Die Korrelationsanalyse der Stichprobe 1 zeigte bei den Lernenden der Experimentalgruppe einen hohen Zusammenhang zwischen dem Aspekt „Planvolles Handeln“ und dem Aspekt „Eigeninitiative“ ($r = +0,797$). Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,002$) signifikant. Auffällig war, dass bei den Lernenden der Kontrollgruppe keine signifikanten Wechselbeziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen bestehen. Die Korrelationsanalyse der Stichprobe 2 ergab, dass bei den Lernenden der Experimentalgruppe die Skala „Selbstwirksamkeit“ auf dem 0,01 Signifikanzniveau ($p = 0,003$) positiv mit dem Aspekt „Lernmotivation“ korreliert ($r = +0,609$) und die Skala „Planvolles Handeln“ positiv auf dem 0,05 Signifikanzniveau ($p = 0,012$) mit der Skala „Eigeninitiative“ ($r = +0,525$) korreliert, was bei beiden Korrelationen einem mittleren Zusammenhang entspricht. Bei den Lernenden der Kontrollgruppe wurde festgestellt, dass die Skala „Selbstwirksamkeit“ positiv mit dem Aspekt „Lernmotivation“ ($r = +0,456$; $p = 0,029$) und dem Lernerfolg nach dem TCI-Pretest ($r = +0,422$; $p = 0,045$) korreliert. Die Korrelationen sind beide auf dem 0,05 Niveau signifikant und entsprechen einem geringen Zusammenhang.

Die Ergebnisse zeigen, dass signifikante Wechselbeziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen bestehen, die den Lernprozess beeinflussen können. Besonders hinsichtlich des selbstgesteuerten Lernens mit digitalen Medien ist es bedeutsam, dass die Lernenden über Lernvoraussetzungen verfügen, um aktiv zu handeln, das heißt ihren Lernprozess zu organisieren und zu überwachen, um mithilfe ihres Fachwissens, Probleme lösen zu können. So zeigen Studien (Schunk et al, 2013), dass Lernende mit hoher Selbstwirksamkeitserwartung häufiger metakognitive Lernstrategien zur Selbstregulation nutzen und eine größere Ausdauer zeigen als Lernende mit geringerer Selbstwirksamkeitserwartung. Ebenfalls konnten Studien belegen, dass der förderliche Effekt der Selbstwirksamkeitserwartung sich auf die Lernleistung auswirkt (Dresel, & Lämmle, 2017), was sich bei den Lernenden der Kontrollgruppe der Stichprobe 2 zeigt.

Am 2. Messzeitpunkt wurde die gestaltete Lernumgebung in Selbstlernphasen des Unterrichts praktisch erprobt, um den Einfluss digitaler Medien zur Förderung der Problemlösefähigkeiten zu untersuchen.

Es zeigte sich, dass die Lernenden der Experimentalgruppen beider Stichproben eine größere Anzahl von Aufgaben richtig lösten als die Lernenden der Kontrollgruppen beider Stichproben. Die statistische Überprüfung ergab aber kein signifikantes Ergebnis. Die Lernenden können selbstgesteuert mit beiden Medien (analog/digital) lernen.

Nach dem 2. Messzeitpunkt beschäftigten sich die Lerngruppen beider Stichproben 14 Tage mit dem Thema „Wärmelehre“ mit Unterstützung des jeweiligen Lernmediums (analog/digital).

Am 3. Messzeitpunkt hatten die Lernenden die Aufgabe, den Textaufgabentest des TCI-Pretest zu wiederholen, diesmal aber ohne unterstützende Lernmaterialien. Ziel war, die Problemlösekompetenz zu beurteilen, durch die Erfassung der Behaltensleistung, als Beziehung zwischen dem Gelernten und dem zu Verstehenden (Hatano, 1998).

Auch bei diesem Textaufgabentest erreichten die Lernenden der Experimentalgruppen beider Stichproben ein besseres Ergebnis. Die statistische Überprüfung ergab aber kein signifikantes Ergebnis.

Außerdem sollten die Lernenden mittels Fragebogen ihren Grad der erlebten Selbststeuerung als praktische Erfahrung einschätzen. Ziel ist, die theoretische Selbsteinschätzung zum selbstgesteuerten Lernen mit digitalen Medien mit der praktischen Erfahrung des selbstgesteuerten Lernens mit digitalen (Experimentalgruppe) und analogen (Kontrollgruppe) Medien zu vergleichen.

Durch die schriftliche Befragung zeigte sich, dass sich die Lerngruppen signifikant auf dem 0,05 Niveau in der Veränderung des erlebten Grades der Selbststeuerung unterscheiden (Stichprobe 1: $p = 0,028$; Stichprobe 2: $p < 0,001$). Die Lernenden der Kontrollgruppen beider Stichproben bewerteten ihren Grad der erlebten Selbststeuerung nach dem Lernen in der analogen Lernumgebung schlechter als zum Zeitpunkt des Tests: Fachwissen „Wärmelehre“.

Ebenfalls wurde von den Lernenden mithilfe des Fragebogens der Einsatz von metakognitiven Strategien zur Handlungskontrolle (Lernzielkontrolle, Ausdauer, Umgang mit Fehlern) in der Lernsituation bewertet (Kuhl, 1983). Ziel war festzustellen, ob die theoretische Ebene der Lernerfahrungen durch die Aspekte „Planvolles Handeln“ und „Eigeninitiative“ und die praktische Ebene des Einsatzes von Lernstrategien auf der Handlungsebene sich wechselseitig beeinflussen (Konrad, 2008). Hier konnten Korrelationen festgestellt werden (vgl. Kapitel 6.2.3).

Abschließend hatten die Lernenden die Aufgabe, mithilfe des Fragebogens, die erlebte Mediengestaltung einzuschätzen. Die Beurteilung erfolgte durch die Aspekte „Benutzerfreundlichkeit“ als Ausmaß, wie die jeweiligen Lernmaterialien durch die Lernenden zum Lösen der Textaufgaben genutzt wurden und die „Nützlichkeit/Akzeptanz“ als Kriterium zur theoretischen (Kontrollgruppe) und praktischen (Experimentalgruppe) Bewertung der zu vermittelnden Inhalte im Lernprozess (Rey, 2009).

Hier konnten Korrelationen festgestellt werden (vgl. Kapitel 6.2.4).

Um zu untersuchen, inwieweit sich die Lernenden in ihrem Lernverhalten unterscheiden, wurde am 1. Messzeitpunkt ein Lernstilttest nach D. Kolb durchgeführt. Ziel war, festzustellen, wie heterogen sich eine Lerngruppe zusammensetzt und ob alle Lernstiltypen gleichermaßen über die Voraussetzungen verfügen, selbstgesteuert mit digitalen Lernmaterialien in der Lernumgebung zu lernen. Es konnte festgestellt werden, dass sich die Lerngruppen beider Stichproben heterogen zusammensetzen und alle vier Lernstile, bis auf eine Lerngruppe, in der die Gruppe der Divergierer fehlt, vertreten sind. Ziel war es, zu analysieren, ob alle Lernstiltypen mit den digitalen Lernmaterialien effektiv lernen konnten (vgl. Kapitel 6.2.5).

Um zu erfassen, welche Aspekte der Intervention besonders stark wirkten, werden nachfolgend die Forschungsfragen detailliert zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage dieser Arbeit diskutiert.

7.2 Forschungsfrage 1

Durch die 1. Forschungsfrage wurde der Einfluss der individuellen Lernvoraussetzungen beim selbstgesteuerten Lernen mit integrierten Lernumgebungen untersucht.

Ziel war festzustellen, ob es signifikante Korrelationen zwischen den einzelnen Lernvoraussetzungen gibt und ob Korrelationen in Bezug auf den Aspekt „Lernerfolg“ festgestellt werden können. Die Lernenden beider Stichproben schätzen ihre Lernvoraussetzungen mit einem Gesamtmedian von 2,0 ein.

Die Auswertung der einzelnen Aspekte zeigt, dass bei den Lernenden der Experimentalgruppe von Stichprobe 1 der Aspekt „Planvolles Handeln“ mit einem Median

von 2,5 am schlechtesten bewertet wurde. In der Kontrollgruppe wurde der Aspekt „Planvolles Handeln“ ebenfalls am schlechtesten (Md = 3,0) bewertet.

Dieser Aspekt ist aber gerade in selbstgesteuerten Lernphasen von Bedeutung, um den Lernprozess organisieren und das Lernziel zu erreichen.

Auch die Korrelationsanalyse zeigt wie wichtig der Aspekt „Planvolles Handeln“ ist. So korreliert dieser Aspekt bei der Experimentalgruppe von Stichprobe 1 signifikant positiv auf dem 0,01 Signifikanzniveau ($p = 0,002$) mit dem Aspekt „Eigeninitiative“ ($r = + 0,797$), was einem hohen Zusammenhang entspricht. Auch bei den Lernenden der Experimentalgruppe von Stichprobe 2 zeigt sich auf dem 0,05 Signifikanzniveau ($p = 0,012$) ein positiver mittlerer Zusammenhang zwischen diesen beiden Aspekten mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = + 0,525$. Nach dem Metagedächtnismodell von Borkowski, Milstead und Hale (1988) verbessert sich mit zunehmender Lernerfahrung das Strategiewissen, was im Ergebnis zu einer differenzierten Verwendung von Lernstrategien führt (Baumert, 2001).

Die Lernenden sollten demnach regelmäßig die Gelegenheit haben, in einer integrierten Lernumgebung zu lernen, um sich ausprobieren und ihre eigenen Erfahrungen machen zu können (Bsp. Lernen mit Wochenplänen). Bei den Lernenden der Experimentalgruppe der Stichprobe 2 wurde der Aspekt „Selbstwirksamkeit“ mit einem Median von 2,5 am schlechtesten bewertet. Die Kontrollgruppe bewertete alle individuellen Voraussetzungen gleich gut. Der Aspekt „Selbstwirksamkeit“ bewertet das Zutrauen in die eigene Handlungskompetenz. Gerade in Bezug auf das selbstgesteuerte Lernen mit digitalen Medien sollten die Lernenden davon überzeugt sein, dass ihr aktives Konstruieren positive Veränderungen hervorruft (Kirk, 2018). Da Forschungen z.B. von Compeau und Higgins (1995) zeigen, je sicherer die Lernenden mit dem Computer umgehen können, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Lernenden eine Selbstwirksamkeitsüberzeugung beim Lernen mit digitalen Medien aufbauen. Aus diesem Grund sollte ein Medientraining regelmäßig im Unterricht durchgeführt werden (Bildat, 2005).

Die Korrelationsanalyse der Stichprobe 2 zeigt, dass der Korrelationskoeffizient $r = + 0,609$ zwischen dem Aspekt „Selbstwirksamkeit“ und dem Aspekt „Lernmotivation“ bei den Lernenden der Experimentalgruppe auf dem 0,01 Signifikanzniveau ($p = 0,003$) positiv korreliert, was einem mittleren Zusammenhang entspricht. Bei den Lernenden der Kontrollgruppe zeigt sich ebenfalls zwischen diesen beiden Aspekten ein positiver Zusammenhang. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = + 0,456$ auf dem 0,01 Signifikanzniveau ($p = 0,029$) zeigt sich ein geringer Zusammenhang.

Unterstützt werden die Ergebnisse durch die Metastudie der Technischen Universität München zum Thema „Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe“, denn diese konnte zeigen, dass der Einsatz digitaler Unterrichtsmedien

zu einer Steigerung der Motivation führt (Hillmayr, 2017).

Zusätzlich konnte bei den Lernenden der Kontrollgruppe festgestellt werden, dass der Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ signifikant auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,045$) mit dem Aspekt „Selbstwirksamkeit“ korreliert ($r = + 0,422$). Der ermittelte Zusammenhang ist aber gering.

Fazit:

Die Ergebnisse zeigen, wie bedeutsam die Erfassung der individuellen Lernvoraussetzungen der Lernenden vor dem Lernprozess ist, um geeignete Maßnahmen zur Förderung der Lernenden für die integrierte Lernumgebung ableiten zu können.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse sollten die Lehrkräfte die Aspekte „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“, „Selbstwirksamkeit“, „Lernmotivation“, „Planvolles Handeln“, „Eigeninitiative“ durch folgende Punkte im Unterricht fördern:

1. Regelmäßiges Lernen mit digitalen Lernmaterialien in selbstgesteuerten Phasen des Unterrichts
2. anspruchsvolle Aufgabenstellungen, die die Lernenden nicht überfordern
3. Berücksichtigung der Interessen, des Vorwissens und des Lernverhaltens der Lernenden
4. Handlungsspielraum ermöglichen, sich die Lerninhalte autonom anzueignen
5. positives Feedback bei Erledigung einzelner Arbeitsschritte (Zwischenergebnisse)
6. Vermittlung von Zuversicht, dass die Lernenden die Aufgaben erfolgreich bearbeiten werden (Kirk, 2018).

Die genannten Vorschläge fließen in die Überlegungen für das Re-Design (vgl. Kapitel 8) ein.

7.3 Forschungsfrage 2

Im Rahmen der Forschungsfrage 2 wurde untersucht, ob die Lernenden der Experimentalgruppe (digitale Lernmaterialien) eine höhere Anzahl von problemhaltigen Textaufgaben lösen als die Lernenden der Kontrollgruppe (analoge Lernmaterialien) innerhalb des selbstgesteuerten Lernens in einer integrierten Lernumgebung zum Thema „Wärmelehre“. Um die Lerngruppen vergleichen zu können, wurde am Messzeitpunkt 1 innerhalb der Voranalyse (vgl. Kapitel 6.1.1) ein Test zum Fachwissen „Wärmelehre“ durchgeführt. Die statistische Überprüfung des Vorwissens durch den U-Test nach Mann & Whitney ergab, dass sich die Lernenden von Experimental- und Kontrollgruppe in Stichprobe 1 ($p = 0,566$) und Stichprobe 2 ($p = 0,062$) nicht signifikant auf dem 0,05 Niveau (vgl. Kapitel 6.1.1) unterscheiden (siehe Anhang A, Tabelle 1 und Anhang B, Tabelle 1). Die Forschungsfrage 2 wurde untersucht durch eine Analyse des Lernerfolgs beim Lösen von problemhaltigen Textaufgaben an zwei Messzeitpunkten. Am Messzeitpunkt 2 wurde der Einfluss der Lernmaterialien (analog/digital) innerhalb der integrierten Lernumgebung untersucht, während am Messzeitpunkt 3 analysiert wurde, ob nach der zweiwöchigen Intervention (Messzeitpunkt 3) die Problemlösefähigkeiten gefördert werden konnten. Aus diesem Grund wurde der TCI-Wissenstest ohne die Unterstützung von Lernmaterialien wiederholt.

Zahlreiche Studien belegen positive Effekte auf die Lernleistung beim Lernen mit digitalen Lernmedien. Gleichzeitig wurden in einigen Studien auch negative Effekte festgestellt. Die Unterschiede können durch unterschiedliche Vorgehensweisen erklärt werden. Durch die Zusammenfassung der Studienergebnisse zu einer Metastudie ergab sich ein positiver Effekt. So erreichten die Lerngruppen, die mit digitalen Lernmedien lernten, durchweg bessere Ergebnisse in den durchgeführten Tests als die Lerngruppen, die traditionell gelernt haben (Hillmayr, 2017). Im durchgeführten TCI-Pretest lösten die Lernenden der Experimentalgruppe und der Kontrollgruppe der Stichprobe 1 durchschnittlich 10 Aufgaben richtig. Wie bereits aus den Werten ersichtlich, unterscheiden sich die Lerngruppen nicht signifikant. ($p = 0,88$) auf dem 0,05 Niveau (siehe Tabelle 2, Anhang A). Aus diesem Grund muss die Nullhypothese beibehalten werden. In Stichprobe 2 lösten die Lernenden der Experimentalgruppe im TCI-Pretest durchschnittlich 10,5 Aufgaben richtig und die Lernenden der Kontrollgruppe lösten 11 Aufgaben richtig.

Die statistische Überprüfung durch den U-Test nach Mann & Whitney für 2 unabhängige Stichproben ergab, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant in ihrer erreichten Punktzahl unterscheiden ($p = 0,201$) (siehe Tabelle 2, Anhang B). Die Nullhypothese muss beibehalten werden.

Gesamtergebnis zum TCI-Pretest:

Mit beiden Lernmaterialien (analog/digital) konnten sich die Lernenden Fachwissen aneignen und es zum Lösen von problemhaltigen Textaufgaben nutzen. Die Lernenden beider Experimentalgruppen erreichten keine höhere Punktzahl im TCI-Pretest als die Lernenden der Kontrollgruppe, die mit analogen Lernmedien gelernt haben (vgl. Kapitel 6.2.1.1).

Nach dem zweiwöchigen Beschäftigen mit dem Thema „Wärmelehre“ mithilfe der jeweiligen Lernmedien im Unterricht, erfolgte der TCI-Posttest. Die Lernenden hatten die Aufgabe, den Textaufgabentest vom TCI-Pretest zu wiederholen. Der Unterschied war, dass dieser Test, ohne die mediale Unterstützung gelöst werden musste. Ziel war zu überprüfen, inwieweit die Lernenden neues Fachwissen erworben haben und sie in der Lage sind, es selbstgesteuert anzuwenden. Der Medianvergleich der Ergebnisse des TCI-Posttests zeigt, dass die Lernenden der Experimentalgruppe der Stichprobe 1 durchschnittlich 10 Aufgaben und die Lernenden der Kontrollgruppe 9 Aufgaben richtig gelöst haben.

Die statistische Auswertung mithilfe des U-Test nach Mann-Whitney ergab aber, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant ($p = 0,695$) auf dem 0,05 Niveau unterscheiden (siehe Tabelle 3, Anhang A). Im Ergebnis muss die Nullhypothese beibehalten werden.

Bei den Lernenden der Stichprobe 2 zeigt sich ein ähnliches Bild, auch hier erreichten im Medianvergleich die Lernenden der Experimentalgruppe (9,5) ein besseres Ergebnis als die Lernenden der Kontrollgruppe (9). Die statistische Auswertung mithilfe des U-Tests nach Mann-Whitney ergab aber, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant ($p = 0,217$) auf dem 0,05 Niveau unterscheiden (siehe Tabelle 3, Anhang B). Die Nullhypothese muss beibehalten werden (vgl. Kapitel 6.2.1.2).

Gesamtergebnis des TCI-Posttests:

Die Lernenden der Experimentalgruppen von Stichprobe 1 und 2 lösten eine höhere Anzahl an Aufgaben im TCI-Posttest als die Lernenden der Kontrollgruppen beider Stichproben.

Da die deskriptive Analyse einen höheren Lernerfolg der Experimentalgruppen beider Stichproben am Messzeitpunkt 3 zeigte, wurden folgende Analysen zusätzlich durchgeführt:

1. Veränderungsmessung zwischen 2. und 3. Messzeitpunkt
2. Einfluss des Geschlechts
3. Korrelationsanalyse

1. Mithilfe der Veränderungsmessung wurde untersucht, ob sich die Lernenden von Experimental- und Kontrollgruppe in ihrer Leistungsentwicklung zwischen TCI-Pre und TCI-Posttest signifikant unterscheiden. Die deskriptive Auswertung zeigte, dass die Differenzen zwischen den beiden Messzeitpunkten, bei den Lernenden der Experimentalgruppen beider Stichproben geringer sind als bei den Lernenden der

Kontrollgruppen (vgl. Kapitel 6.2.1.3). Die statistische Überprüfung der Veränderungsmessung (Vergleich TCI-Pretest-TCI-Posttest) mithilfe des Wilcoxon-Tests ergab aber kein signifikantes Ergebnis (Stichprobe 1: $p = 0,395$ und Stichprobe 2: $p = 0,144$) (siehe Tabelle 4 Anhang A und Tabelle 4 Anhang B). Die Nullhypothese muss beibehalten werden.

2. Da das Verhältnis der Geschlechter in den Lerngruppen beider Stichproben nicht ausgeglichen war, musste, um die Lernenden individuell fördern zu können, eine geschlechtsspezifische Analyse durchgeführt werden. Die deskriptive Auswertung ergab, dass die männlichen Lernenden in Stichprobe 1 in allen drei Test die größte Anzahl an Textaufgaben richtig gelöst haben. Die Stichprobe 2 zeigt ein anderes Ergebnis. Im Vorwissenstest erreichten die weiblichen Lernenden von Experimental- und Kontrollgruppe die besten Ergebnisse, mit jeweils 3 richtig gelösten Aufgaben. Im TCI-Pretest lösten die männlichen Lernenden (11,0) eine größere Anzahl von Textaufgaben richtig als die weiblichen Lernenden (10,0) der Experimentalgruppe. Bei den Lernenden der Kontrollgruppe zeigt sich ein umgedrehtes Bild. Die weiblichen Lernenden (11,0) der Kontrollgruppe lösen eine größere Zahl an Textaufgaben richtig als die männlichen Lernenden (10,5). Ohne mediale Unterstützung lösen im TCI-Posttest die weiblichen Lernenden sowohl von Experimental- als auch Kontrollgruppe eine größere Anzahl von Textaufgaben richtig (10,0). Mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests (siehe Tabelle 5, 6 und 7 in Anhang A und B) wurde statistisch überprüft, ob sich die Lerngruppen (Experimental-Kontrollgruppe) geschlechtsspezifisch signifikant unterscheiden (vgl. Kapitel 6.2.1.4). Die statistische Überprüfung durch den Kruskal-Wallis-Tests ergab aber kein signifikantes Ergebnis (siehe Tabelle 29).

Tab. 29: Geschlechtsspezifischer Vergleich - Stichprobe 1 und Stichprobe 2

	Stichprobe 1	Stichprobe 2
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	$p = 0,143$	$p = 0,148$
TCI-Pretest	$p = 0,726$	$p = 0,629$
TCI-Posttest	$p = 0,386$	$p = 0,242$

Signifikanz nach Kruskal-Wallis-Test (Alpha=0,05)

Die Frage des Geschlechts wird deshalb in nachfolgenden Analysen dieser Arbeit nicht mehr berücksichtigt. In zukünftigen Studien sollte der geschlechtsspezifische Aspekt dennoch untersucht werden, da die Ergebnisse (Lernerfolg) darauf hinweisen, dass es für die männlichen und weiblichen Lernenden von Vorteil ist, mit digitaler Unterstützung im naturwissenschaftlichen Unterricht zu lernen.

3. Mithilfe der nachfolgenden Korrelationsanalyse wurde untersucht, ob zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen (Forschungsfrage 1), dem Grad der erlebten Selbststeuerung (Forschungsfrage 3), den Aspekten der Selbstregulation (Forschungsfrage 4), der Mediengestaltung (Forschungsfrage 5) einerseits und dem Lernerfolg (Ergebnisse TCI-Pre- und Posttest) andererseits wechselseitige Beziehungen bestehen. Für die statistische Überprüfung wurden die Rangkorrelationen nach Spearman berechnet.

Stichprobe 1:

Bei der Experimentalgruppe konnte eine positive signifikante Korrelation auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,03$) zwischen dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ und dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest“ festgestellt werden ($r = +0,662$), was einem mittleren Zusammenhang entspricht (siehe Abbildung 15). Die Lernenden, die erfolgreich in der digitalen Lernumgebung lernen, erreichen auch gute Ergebnisse im TCI-Posttest (vgl. Kapitel 7.8.2.1). Bei den Lernenden der Kontrollgruppe konnte eine positive signifikante Korrelation auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,03$) zwischen dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ und dem Aspekt „Ausdauer“ festgestellt werden ($r = +0,650$). Dieser Korrelationskoeffizient entspricht einem mittleren Zusammenhang (siehe Abbildung 19).

So verfügen Lernende mit einer hohen Ausdauer über Strategien der willentlichen Handlungskontrolle, das heißt, sie können die Diskrepanz zwischen Ist- und Sollzustand durch ihr Handeln überwinden (Kuhl, 1983).

Bestätigt wird die Annahme durch die ebenfalls festgestellte positive signifikante Korrelation auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,018$) zwischen dem Aspekt „Ausdauer“ und dem Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ mit einem Wert von $r = +0,693$. Dieser Korrelationskoeffizient entspricht einem mittleren Zusammenhang (vgl. Kapitel 7.8.2.3).

Um zu erreichen, dass die Lernenden mit digitalen Medien ausdauernder lernen, sollten sie kooperativ lernen, um die Motivation, das Interesse und die Lernfreude zu steigern.

So zeigen die Ergebnisse der Metaanalyse, dass Lernende, wenn sie einzeln lernen, wie in vorliegender Arbeit, davon profitieren. Ein deutlich größerer Effekt zeigt sich aber, wenn die Lernenden in Partnerarbeit in einer digitalen Lernumgebung lernen, weil die Kommunikation unter den Lernenden über den zu lernenden Lerngegenstand angeregt wird (Hillmayr, 2017). Ebenfalls bedeutsam sind die Korrelationen des Aspekts „Lernerfolg im TCI-Posttest“ mit den Aspekten „Lernzielkontrolle“ ($r = +0,698$; $p = 0,017$) und „Nützlichkeit“ ($r = +0,665$; $p = 0,025$) auf dem 0,05 Niveau, was mittleren Zusammenhängen entspricht.

Stichprobe 2:

Bei den Lernenden der Experimentalgruppe korreliert der Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ positiv mit den Aspekten „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = +0,616$; $p = 0,02$) auf dem 0,01 Niveau (vgl. Kapitel 7.8.2.2). Der Aspekt „Lernerfolg TCI-Pretest“ korreliert mit dem Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,012$) mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = +0,525$, was einem mittleren Niveau entspricht (siehe Abbildung 18).

Ebenfalls korreliert der Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest“ positiv mit dem Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ ($r = +0,440$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,040$), was einem geringen Zusammenhang entspricht. Der Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ korreliert mit dem Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ ($r = +0,472$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,027$). Diese Ergebnisse zeigen, wie bedeutsam die mediale Gestaltung der Lernmaterialien für die Förderung der Lernleistungen ist.

Bei den Lernenden der Kontrollgruppe korreliert der Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ signifikant positiv auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,045$) mit dem Aspekt „Selbstwirksamkeit“ mit einem Wert von $r = +0,422$, was einem geringen Zusammenhang entspricht (siehe Abbildung 20). Man kann aufgrund der Korrelation davon ausgehen, dass bei den Lernenden dieser Lerngruppe die Überzeugung vorherrscht, durch ihr eigenes Handeln im Lernprozess, die gestellten Aufgaben zu lösen. Dieses Ergebnis wird durch die multimediale Theorie nach Mayer (2014) gestützt, in der davon ausgegangen wird, dass Lernen ein aktiver Prozess ist, bei dem neues Wissen durch selbstgesteuerte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand in das bestehende Wissen integriert werden muss (Hillmayr, 2017).

Bei den Lernenden der Kontrollgruppe gab es keine signifikanten Korrelationen zum Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest“.

Die Korrelationen der Aspekte zum Lernerfolg liegen nur auf einem geringen oder mittleren Niveau. Ursachen können nur vermutet werden. So verfügen die Lernenden beider Stichproben laut ihrer Aussagen kaum über Erfahrungen mit dem selbstgesteuerten, digitalen Lernen. Die Lernenden sollten regelmäßig die Möglichkeit haben, um mit digitalen Lernmaterialien zu lernen. Ziel ist, dass die Lernenden ihre individuellen Repräsentationen zur Lösung der problemhaltigen Textaufgaben konstruieren können.

Ein zweiter Grund könnte in dem zu kurzen Interventionszeitraum liegen. Dieser sollte in Folgeuntersuchungen verlängert werden.

Ein weiterer Grund könnte im individuellen Lernverhalten der Lernenden liegen, deshalb wird in Forschungsfrage 6 mithilfe einer Lernstiltypenanalyse nach D. Kolb (1984) untersucht, ob alle Lernenden gleichermaßen von der gestalteten Lernumgebung profitieren (vgl. Kapitel 7.7).

Fazit:

Die Lernenden der Experimentalgruppen beider Stichproben erreichen bessere Ergebnisse in den Wissenstests. Diese Ergebnisse unterscheiden sich aber nicht signifikant von den Ergebnissen der Kontrollgruppen beider Stichproben.

Die Korrelationsanalyse zeigte signifikante wechselseitige Beziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen, der Selbstregulation, dem Grad der Selbststeuerung und der Mediengestaltung.

Aus den Ergebnissen können die folgenden Vorschläge zur Weiterentwicklung der Lernumgebung abgeleitet werden, die dann in das Re-Design (vgl. Kapitel 8) einfließen.

1. Lernen in Partnerarbeit für einen aktiven Austausch der Lernenden
2. Förderung der PC-Kenntnisse durch regelmäßiges Ausprobieren im Unterricht
3. Wechsel der Verwendung von Lernmedien (analog/digital) in den Phasen des Unterrichts
4. Lehrpersonen sollten an Weiterbildungen teilnehmen, um sicher im Umgang mit digitalen Medien zu sein. Ebenfalls ist es wichtig, dass sie vom Einsatz digitaler Medien überzeugt sind, um Lernende motivieren zu können.
5. Die Lernmaterialien sind so gestaltet, dass sie an die Lernvoraussetzungen und das Lernverhalten der Lerngruppe jederzeit angepasst werden können, um die Lernenden individuell zu fördern.

Die weiterentwickelte Lernumgebung wird dann unter schulischen Bedingungen in einem erneuten Zyklus getestet. Ziel ist, auf Grundlage der theoretischen Erkenntnisse und der praktischen Erprobung im Unterricht, eine Lernumgebung „Wärmelehre“ für den Physikunterricht zu gestalten und weiterzuentwickeln, bis sie problemlos im Unterricht eingesetzt werden kann.

7.4 Forschungsfrage 3

Mit der 3. Forschungsfrage wird der Handlungsspielraum der Lernenden mithilfe des Aspekts „Grad der erlebten Selbststeuerung“ untersucht. Erfasst wird dieser Aspekt einmal als theoretische Überzeugung der Lernenden und zum anderen als praktische Erfahrung nach dem Lernen in der jeweiligen Lernumgebung (analog/digital).

Ziel war festzustellen, ob sich die Selbsteinschätzungen der Lernenden nach dem Lernen in der jeweiligen Lernumgebung geändert haben und ob Unterschiede zwischen den Lernenden der Experimental- und der Kontrollgruppe erkennbar sind.

Ebenfalls soll diskutiert werden, inwieweit der Grad der erlebten Selbststeuerung, die Aspekte: Lernleistung, individuelle Lernvoraussetzungen, Selbstregulation (metakognitive und motivationale Lernstrategien) und Mediengestaltung, beeinflusst.

In Stichprobe 1 bewerteten die Lernenden der Experimentalgruppe am 1. Messzeitpunkt ihren „Grad der erlebten Selbststeuerung“ mit einem Medianwert von 1,75 und die Lernenden der Kontrollgruppe mit einem Medianwert von 1,5 ein (siehe Tabelle 15). Die Lernenden beider Lerngruppen sind der Auffassung, dass sie über die Fähigkeiten verfügen, selbstgesteuert lernen zu können (vgl. Kapitel 6.2.2).

Diese positive Einschätzung ist bedeutsam, weil laut Studien von Guglielmino und Mitarbeitern (1987) ein enger Zusammenhang zwischen Selbststeuerungsbereitschaft und Problemlösefertigkeiten angenommen wird (Konrad, 2008).

Am 3. Messzeitpunkt sollten die Lernenden einschätzen, inwieweit ihnen die Lernumgebung einen Handlungsspielraum zum selbstgesteuerten Lernen ermöglicht.

Während die Lernenden der Experimentalgruppe ihren erlebten Grad der Selbststeuerung besser einschätzten ($Md = 1,5$), verschlechterte sich der Wert bei der Kontrollgruppe stark ($Md = 2,5$). Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Lernenden durch ihre private Nutzung digitaler Medien (Bsp. Handy) einen hohen Handlungsspielraum (Konstruktion) gewöhnt sind, der bei analogen Medien (Instruktion) oft nicht gegeben ist. Die statistische Überprüfung mithilfe des Wilcoxon-Tests für 2 abhängige Stichproben ergab, dass sich die Lerngruppen der 1. Stichprobe im Vergleich der Veränderung des Grades der Selbststeuerung signifikant ($p = 0,028$) auf dem 0,05 Niveau unterscheiden (siehe Tabelle 8, Anhang A).

In Stichprobe 2 bewerteten die Lernenden der Kontrollgruppe am 1. Messzeitpunkt ihren Grad der erlebten Selbststeuerung mit einem Medianwert von 1,5 besser ein als die Lernenden der Experimentalgruppe ($Md = 2,0$). Während am 2. Messzeitpunkt die Lernenden der Experimentalgruppe diesen Aspekt mit dem gleichen Medianwert ($Md = 2,0$) bewerteten, verschlechterte sich die Selbsteinschätzung bei den Lernenden der Kontrollgruppe auf einen Medianwert von 2,0.

Die statistische Auswertung ergab, dass sich die Lerngruppen im Vergleich der Veränderung des Grades der erlebten Selbststeuerung signifikant ($p < 0,001$) unterscheiden (siehe Tabelle 8, Anhang B).

Bei den Lernenden der Experimentalgruppen beider Stichproben wurde die theoretische Annahme über Handlungsspielräume zu verfügen, beim Lernen in der integrierten Lernumgebung bestätigt. Bei den Lernenden der Kontrollgruppen zeigte sich ein gegenteiliges Ergebnis. Sie sahen sich beim Lernen mit dem analogen Lernmedium in ihrem Handlungsspielraum eingeschränkt.

Ebenfalls wurde der Einfluss des Handlungsspielraums (Grad der erlebten Selbststeuerung) auf die Aspekte Lernleistung, individuelle Lernvoraussetzungen, Selbstregulation (metakognitive und motivationale Lernstrategien) und Mediengestaltung durch eine Korrelationsanalyse untersucht.

Bei der Experimentalgruppe der Stichprobe 1 konnten signifikante Wechselbeziehungen zwischen dem Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ und den Aspekten „Benutzerfreundlichkeit“ ($r = +0,691$; $p = 0,013$), „Selbstwirksamkeit“ ($r = +0,641$; $p = 0,025$) und „Planvolles Handeln“ ($r = +0,626$; $p = 0,03$) festgestellt werden. Alle drei Korrelationen sind auf dem 0,05 Niveau signifikant und entsprechen einem mittleren Zusammenhang. Bei der Experimentalgruppe der Stichprobe 2 korreliert der Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ mit dem Aspekt „Umgang mit Fehlern“ auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,036$). Der Korrelationskoeffizient zeigt einen Wert von $r = +0,450$, was einem geringen Zusammenhang entspricht. Die Ergebnisse bestätigen die theoretische Annahme, dass handlungsorientierte Lernende über Strategien zur willentlichen Handlungskontrolle verfügen (Kuhl, 1983). Feststellen muss man aber auch, dass der Lernerfolg im TCI-Pretest und im TCI-Posttest nicht signifikant mit dem „Grad der erlebten Selbststeuerung“ in den Experimentalgruppen beider Stichproben korreliert. Gründe können sein, dass die Lernenden noch zu ungeübt im selbstgesteuerten Lernen sind oder ihnen Kenntnisse zu den notwendigen Lernstrategien noch nicht ausreichend zur Verfügung stehen.

Fazit:

Die Lernenden der Experimentalgruppen bewerten ihren „Grad der Selbststeuerung“ im Vergleich zwischen theoretischer Überzeugung und praktischer Erfahrung besser bzw. wurden in ihrer Auffassung bestätigt. Bei den Lernenden der Kontrollgruppe verschlechterte sich die Bewertung nach der praktischen Erfahrung. Diese Einschätzung ist bedeutsam, da zwischen der Selbststeuerung und den Problemlösefähigkeiten ein enger Zusammenhang angenommen wird (Guglielmino, 1987).

Aus den Ergebnissen ableitend, kann der Grad der erlebten Selbststeuerung durch Förderung der individuellen Stärken der Lernenden, durch Berücksichtigung der Interessen, durch Anpassung der Lernumgebung an das individuelle Lernverhalten (vgl. Kapitel 6.2.5) aber vor allem durch die regelmäßige Möglichkeit zum selbständigen Lernen, in einer integrierten Lernumgebung gefördert werden.

7.5 Forschungsfrage 4

Mit der Forschungsfrage 4 soll der Einfluss der Aspekte der Selbstregulation (metakognitive und motivationale Lernstrategien) untereinander und auf den Lernerfolg diskutiert werden.

So sind Kenntnisse zur Selbstregulation beim Lernen notwendig, um das erworbene Fachwissen auch auf zukünftige Lernsituationen übertragen zu können.

Zu diesen Kenntnissen gehören metakognitive Strategien, aber auch Strategien zur motivationalen Handlungssteuerung, um ausdauernd zu lernen und um mit Fehlern

umzugehen (Simons, 1992).

In der Stichprobe 1 bewerten die Lernenden der Experimentalgruppe die Aspekte „Lernzielkontrolle“ (Md = 1,75), „Ausdauer“ (Md = 2,5) und „Planvolles Handeln“ (Md = 2,5) besser als die Lernenden der Kontrollgruppe (vgl. Kapitel 6.2.3). Der Aspekt „Eigeninitiative“ wurde von beiden Lerngruppen mit Md = 2,0 und der Aspekt „Umgang mit Fehlern“ wurde von beiden Lerngruppen mit Md = 2,5 bewertet (siehe Tabelle 17).

In Stichprobe 2 bewerten die Lernenden der Experimentalgruppe nur den Aspekt „Umgang mit Fehlern“ (Md = 2,0) besser als die Lernenden der Kontrollgruppe (Md = 2,5). Auffällig ist, dass der Aspekt „Ausdauer“ bei den Lernenden der Kontrollgruppe mit einem Wert von Md = 2,0 viel besser bewertet wurde als von den Lernenden der Experimentalgruppe mit einem Medianwert von 3,0 (siehe Tabelle 18).

Das lässt den Schluss zu, dass die gestalteten Lernmaterialien oder die Aufgabenstellungen ein zu hohes oder ein zu niedriges Niveau für die Lernenden hatten. Um dies zukünftig zu verhindern, sollte neben dem Vorwissenstest und dem Lernstiltest, die Schulnote im entsprechenden Fach erfasst werden, um Lernende mit besonderem Förderungsbedarf zu entdecken. Ebenfalls sollten die Interessen der Lernenden erfragt werden, um die Erkenntnisse in die Gestaltung der Lernumgebung einfließen zu lassen.

Um die Wechselbeziehungen zwischen den Aspekten der Selbstregulation, den individuellen Lernvoraussetzungen und dem Lernerfolg zu diskutieren, wurden Rangkorrelationen nach Spearman durchgeführt. Ziel ist, die Stärken und Schwächen während des Lernens in selbstgesteuerten Phasen sichtbar zu machen. Dazu ist es notwendig, dass die Lernenden in der Lage sind, ihre Fähigkeiten mithilfe eines Fragebogens zu beurteilen (Konrad, 2008). Aus diesem Grund sollten die Lernenden regelmäßig die Möglichkeiten zu Selbsteinschätzungen haben. Durch die Reflexion mit ihrem individuellen Lernen kann sich ihr Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten entwickeln.

Die Auswertung ergab, dass bei den Lernenden der Experimentalgruppe der Stichprobe 1 der Aspekt „Planvolles Handeln“ positiv mit der „Eigeninitiative“ auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,02$) mit einem Wert von $r = +0,797$ korreliert, was einem hohen Zusammenhang entspricht. Da auch der Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ mit dem „Lernerfolg im TCI-Posttest“ mit einem Wert von $r = +0,662$ auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,019$) positiv korreliert, können die Untersuchungen von Azero et al (2004) bestätigt werden, bei denen sich zeigte, dass Lernende, die bessere Leistungen erreichten, auch besser planten und ihren Lernprozess effektiver überwachten (Konrad, 2008). Des Weiteren wurde eine signifikant negative Korrelation zwischen dem Aspekt „Ausdauer“ und dem Aspekt „Lernzielkontrolle“ festgestellt. Der Korrelationskoeffizient zeigt einen Wert von $r = -0,680$ auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,015$). Das Problem der fehlenden Ausdauer kann mit einem Wechsel der Sozialform (Partner oder Gruppenarbeit) entgegengewirkt werden.

Bei den Lernenden der Kontrollgruppe korreliert der Aspekt „Ausdauer“ positiv mit den Aspekten „Planvolles Handeln“ ($r = +0,785$) auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,004$), der „Eigeninitiative“ ($r = +0,648$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,031$), dem Aspekt „Lernerfolg“ im TCI-Pretest ($r = +0,650$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,030$) und dem „Grad an erlebter Selbststeuerung“ ($r = +0,693$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,045$), was mittleren Zusammenhängen entspricht.

Die Ergebnisse beider Lerngruppen zeigen, dass, wenn die Lernenden über metakognitive und motivationale Strategien verfügen, auch ausdauernd handeln (Heckhausen, 1989). Nach der Entscheidung zur Handlung, wird der Wille aktiviert und der Lernende setzt sich Ziele und reguliert sein Handeln (Bildat, L, 2005). Bei den Lernenden der Experimentalgruppe von Stichprobe 2 zeigte sich, dass der Aspekt „Planvolles Handeln“ gleich mit drei Aspekten signifikant korreliert, der „Eigeninitiative“ ($r = +0,525$; $p = 0,012$), der Lernzielkontrolle ($r = +0,482$; $p = 0,023$) und dem Aspekt „Umgang mit Fehlern“ ($r = +0,580$; $p = 0,005$). Alle drei Korrelationskoeffizienten zeigen einen mittleren Zusammenhang.

Eine weitere festgestellte signifikante Korrelation auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,015$) betrifft den Aspekt „Umgang mit Fehlern“ zum Aspekt „Eigeninitiative“ ($r = +0,512$).

Der Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang und unterstützt die Annahme, dass die Handlungskontrolle beim Lernen in der integrierten Lernumgebung dazu führt, dass die Lernenden sich intensiver mit den Lerninhalten beschäftigten, seltener aufgaben, wenn Probleme auftraten und die Problemaufgaben häufiger lösten als die Kontrollgruppe (Gama, 2005).

Bei den Lernenden der Kontrollgruppe korreliert der Aspekt „Lernzielkontrolle“ negativ mit dem Lernerfolg nach dem TCI-Pretest ($r = -0,448$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,032$). Künftig sollten alle Aspekte der Selbstregulation an zwei Messzeitpunkten erfasst werden, um auf mögliche Veränderungen bei den Lernenden schneller reagieren zu können.

Ausgehend von der Annahme, dass Lernzielorientierte aus eigenem Interesse lernen und bestrebt sind, gute Leistungen zu erbringen (Spinath et al, 2012), sollten zukünftig die Interessen der Lernenden stärker berücksichtigt werden.

Gefördert werden können diese Aspekte durch interessant und abwechslungsreich gestaltete Unterrichtsthemen, so dass sie das Interesse der Lernenden ansprechen. Großen Einfluss auf das Interesse der Lernenden hat der Einsatz von Medien. Durch Selbstlernphasen mit Medien können die Lernenden ihren Lernprozess selbst planen, Erfahrungen sammeln und sich selbst Lernziele setzen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Lernenden nach ihrem bevorzugtem Lernstil (Lernpräferenzen) mit ihrem gewählten Medium lernen können. Welchen Einfluss diese Faktoren auf den Lernerfolg und die lernprozessabhängigen Faktoren (Individuellen Lernvoraussetzungen, die Aspekte der Selbstregulation und der Grad der Selbststeuerung) haben, wird durch die Lernstilanalyse in Kapitel 7.7 diskutiert.

Fazit:

Die bisherige Diskussion der Forschungsergebnisse zeigt, dass sich die Aspekte der Selbstregulation, mit den individuellen Lernvoraussetzungen (vgl. Kapitel 7.2) und dem Personenmerkmal „Grad der erlebten Selbststeuerung“ (vgl. Kapitel 7.4) wechselseitig bedingen und so den Lernerfolg beeinflussen können.

7.6 Forschungsfrage 5

Mit der 5. Forschungsfrage wird der Einfluss der Mediengestaltung auf den Lernerfolg diskutiert. Mithilfe zweier Aspekte soll der Einfluss untersucht werden, zum einen durch die Benutzerfreundlichkeit, die das Ausmaß beschreibt, wie der Lernende die Lernumgebung genutzt hat, um sein Lernziel (Lösen des Textaufgaben-tests) mit Zufriedenheit zu erreichen und zum anderen durch den Aspekt „Nützlichkeit des Arbeitsmittels“, bei dem der Design- und Gestaltungsaspekt, der zu vermittelnden Lerninhalte im Vordergrund steht (Rey, 2009). Untersuchungen zeigen, dass Lernziele effektiver erreicht werden, wenn es der Lehrperson gelingt, die Lernumgebung so zu gestalten, dass sie für Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen, die erforderlichen Handlungsspielräume schafft (Konrad, 2008). Eine Möglichkeit ist das selbstgesteuerte Lernen mit digitalen Medien, denn sie haben das Potenzial, schülerorientierte Lehr- und Lernprozesse zu unterstützen. Digitale Medien tragen dazu bei, dass die individuellen Voraussetzungen und Interessen der Lernenden effektiver innerhalb der Lernumgebung berücksichtigt werden. Die individuelle Förderung der Lernenden mithilfe digitaler Medien kann durch Differenzierung, Individualisierung oder durch Personalisierung erfolgen. Bei der Differenzierung wird von der Lehrperson, einer Gruppe von Lernenden mit ähnlichen Voraussetzungen passend aufgebaute Lerninhalte angeboten. Bei der Individualisierung wird von der Lehrperson versucht, für einzelne Lernende passende Lerninhalte zur Verfügung zu stellen. Dazu wird von der Lehrperson über eine Lernplattform ein individueller Lernplan für jeden Lernenden erstellt. Bei der Personalisierung wählt der Lernende selbst aus, welche Lerninhalte er bearbeiten, welche Lernziele er erreichen und auf welche Unterstützung er zurückgreifen möchte (Petko, 2017).

Die integrierte Lernumgebung wurde so konzipiert, dass sie im strukturierten unterrichtlichen Rahmen in Selbstlernphasen des Physikunterrichts eingesetzt werden kann, aber auch zum Selbststudium zu Hause. Das Ziel des 1. Zyklus des Design-Based-Research Forschungsansatzes war, die individuelle Förderung mithilfe digitaler Medien durch Personalisierung zu untersuchen. So konnten die Lernenden ihren Lernweg selbst planen, durchführen, kontrollieren und die Art und den Umfang der Unterstützung selbst bestimmen. Außerdem wurden die Lernmaterialien zur Unterstützung der Lernenden so gestaltet, dass sich die Lernenden nach ihrem präferierten Lernstil mit den Lerninhalten auseinandersetzen konnten (vgl. Kapitel 7.7).

Im Rahmen der 5. Forschungsfrage wurde bei den Lerngruppen beider Stichproben untersucht, ob Korrelationen zwischen der Mediengestaltung, dem Lernerfolg, den individuellen Lernvoraussetzungen, den Aspekten der Selbstregulation und dem Personenmerkmal „Grad der Selbststeuerung“ auftraten.

Den Ergebnissen zufolge bewerteten die Lernenden der Experimentalgruppe ($Md = 2,0$) der Stichprobe 1 den Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ besser als die Lernenden der Kontrollgruppe ($Md = 2,5$). Dagegen bewerteten die Lernenden beider Lerngruppen der Stichprobe 2 den Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ mit dem gleichen Wert ($Md = 2,5$).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lernziele in der gestalteten Lernumgebung mit medialer Unterstützung selbstgesteuert erreicht werden können.

Betrachtet man aber den Aspekt „Nützlichkeit“ fällt die schlechte Bewertung der Experimentalgruppe ($Md = 3,0$) der 2. Stichprobe auf. Um nach Gründen zu suchen, wurden weitere Korrelationen des Aspekts „Nützlichkeit“ bei dieser Lerngruppe analysiert. So ist nicht auszuschließen, dass die gefundenen Korrelationen zu den Aspekten „Motivation“, „Selbstwirksamkeit“ und „Ausdauer“ einen Einfluss auf die Bewertung haben. Ein weiterer Grund kann das fehlende Interesse am Fach Physik sein. In der 2. Stichprobe wurde dieser Aspekt erfragt und 60% der Lernenden gaben an, kein Interesse am Fach Physik zu haben. Um schneller mögliche Gründe zu identifizieren, sollte im 2. Zyklus des DBR ein offener Teil für Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge in den Fragebogen integriert werden.

Besonders auffällig ist, dass der Aspekt „Ausdauer“ in drei der vier untersuchten Lerngruppen mit dem Aspekt „Nützlichkeit“ positiv korreliert. Das bedeutet, dass die Gestaltung der Lerninhalte einen großen Einfluss darauf hat, wie ausdauernd die Lernenden in ihrem Lernprozess sind, um ihr Lernziel zu erreichen.

Da der Aspekt „Ausdauer“ nach Heckhausen (1989) das Bindeglied zwischen Motivation und Handlung ist, muss durch weitere Studien geprüft werden, inwieweit die Lernmaterialien stärker nach den Leistungsvoraussetzungen der Lernenden (Wissen und Intelligenz) differenziert werden müssen, um das ausdauernde Lernen zu fördern.

Im 2. Zyklus des Design-Based-Research Forschungsansatzes sollte deshalb die Förderung durch Differenzierung nach Lernstilgruppen untersucht werden, um dann im 3. Zyklus, ableitend aus den Ergebnissen des 1. und 2. Zyklus, passende Lerninhalte für einzelne Lernende zu gestalten, die sich unter- oder überfordert fühlen.

Die Untersuchung der Aspekte zeigt außerdem den Einfluss der Lernmaterialien auf den Lernerfolg.

So korreliert der Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ negativ bei den Lernenden der Experimentalgruppe in Stichprobe 1 mit dem Lernerfolg im TCI-Posttest mit einem Wert von $r = -0,668$ auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,018$). Dagegen korreliert die „Benutzerfreundlichkeit“ bei den Lernenden der Experimentalgruppe der Stichprobe 2 signifikant positiv auf dem 0,05

Niveau ($p = 0,012$) im TCI-Pretest ($r = +0,525$), was einem mittleren Zusammenhang entspricht und dem „Lernerfolg“ im TCI-Posttest ($r = +0,440$) signifikant positiv auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,040$) was einem geringem Zusammenhang entspricht.

Ein möglicher Grund für die negative Korrelation könnte in der fehlenden Ausdauer liegen, eine Lernzielkontrolle durchzuführen, was der negative Korrelationskoeffizient ($r = -0,680$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,015$) zwischen den Aspekten „Lernzielkontrolle“ und „Ausdauer“ zeigt (vgl. Kapitel 7.4). Aus diesem Grund sollte das selbstgesteuerte Lernen mit digitalen Medien regelmäßig geübt werden und die Lernenden mit Förderbedarf sollten Unterstützungsangebote erhalten. Ein weiterer Grund kann der Zeitpunkt der Befragung dieser beiden Aspekte sein. Hier wäre es besser gewesen, die Aspekte der Mediengestaltung bereits nach dem TCI-Pretest zu erfragen, weil zu diesem Zeitpunkt mit medialer Unterstützung gelernt wurde.

Fazit:

Die Ergebnisse der Befragung beider Stichproben zeigen ähnliche Werte.

Die Korrelationsanalysen der beiden Stichproben zeigen dagegen unterschiedliche Ergebnisse. Während in Stichprobe 1 bei der Experimentalgruppe eine negative Korrelation zwischen der „Benutzerfreundlichkeit“ und dem „Lernerfolg“ im TCI-Posttest festgestellt wurde, zeigte sich in Stichprobe 2 bei der Experimentalgruppe ein anderes Ergebnis. Der Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ korreliert positiv mit dem „Lernerfolg im TCI-Pretest und dem TCI-Posttest. Der Aspekt „Nützlichkeit“ korreliert nur bei der Kontrollgruppe mit dem Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ und dem Aspekt „Lernerfolg im TCI-Posttest.

Die unterschiedlichen Ergebnisse zeigen, wie bedeutsam die Qualität der Lernmaterialien für den Lernerfolg in der Lernumgebung ist und wie sich die einzelnen Aspekte mit den individuellen Lernvoraussetzungen und den Aspekten der Selbstregulation wechselseitig beeinflussen. Da sich die Nutzungsgewohnheiten der Lernenden ständig ändern, ist das Erfassen des Aspekts „Benutzerfreundlichkeit“ des Lernmediums eine dauerhafte Aufgabe, weil dieser Aspekt eine Voraussetzung ist, um selbstgesteuert zu lernen (Petko, 2014).

Im 2. Zyklus des DBR sollten deshalb, die Aspekte „Benutzerfreundlichkeit“ und „Nützlichkeit“ zweimalig, also nach TCI-Pretest und nach TCI-Posttest erfragt werden, um den Unterstützungsbedarf schneller festzustellen und die Lernumgebung an die Erfordernisse der Lernenden anpassen zu können.

7.7 Forschungsfrage 6

Im Fokus der 6. Forschungsfrage steht die Wirkung der gestalteten Lernumgebung auf unterschiedliche Lernstile. Es soll die Frage diskutiert werden, ob eine integrierte Lernumgebung so gestaltet werden kann, dass sie die individuellen Unterschiede im Lernverhalten (Lernstilgruppen nach D. Kolb) der Lernenden gleichermaßen berücksichtigt. So absolvierten die Lernenden innerhalb der Vorstudie den Test zur Erfassung ihres Lernstiltyps nach D. Kolb, bei dem vier Lernstile unterschieden werden: 1. Assimilierer, 2. Divergierer, 3. Akkomodierer, 4. Konvergierer. Nach Ermittlung des Testergebnisses erfolgte die Gruppenzuordnung. So konnte festgestellt werden, dass selbst in den kleinen Lerngruppen fast alle Lerntypen vorhanden waren. So fehlten nur Lernende vom Lernstiltyp der Divergierer in der Experimentalgruppe von Stichprobe 2.

Um eine lernstilabhängige Analyse durchführen zu können, war es notwendig zu klären, was unter einem Lernstil zu verstehen ist. Da viele Modelle zu Lernstilen existieren, ist es schwierig eine allgemeingültige Definition von Lernstilen abzuleiten. Aus diesem Grund wird die folgende Arbeitsdefinition für Lernstile übernommen:

„Lernstile sind aus charakteristischen kognitiven, affektiven und physiologischen Faktoren zusammengesetzt, die als relativ stabile Indikatoren dafür dienen, wie ein Lernender die Lernumgebung wahrnimmt und mit ihr interagiert und auf sie reagiert“ (Erpenbeck & Heyse, 1999).

Um zu untersuchen, ob alle Lernstile von der gestalteten Lernumgebung profitieren, wurden die Lernstilgruppen, die sich in ihrer Herangehensweise an den Lernstoff und psychologische Merkmale unterscheiden, mithilfe folgender Aspekte verglichen:

1. Mediengestaltung (Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit des digitalen Arbeitsmittels)
2. metakognitiven Strategien (Planvolles Handeln, Eigeninitiative, Lernzielkontrolle)
3. motivationale (Lernmotivation und Selbstwirksamkeit) und volitionale Aspekte (Ausdauer, Umgang mit Fehlern)
4. Erlebter Grad der Selbststeuerung
5. Lernerfolg (Summe der Textaufgabentests)

Um die Ergebnisse (siehe Kapitel 6.2.5) im Zusammenhang diskutieren zu können, wurden sie in den Tabellen 30-33 noch einmal dargestellt. Auf Grund der geringen Anzahl an Lernenden innerhalb der Lernstilgruppen erfolgte keine interferenzstatistische Auswertung.

Stichprobe 1: Experimentalgruppe

Tab. 30: Untersuchung 1 - IGS - Einstellungsbefragung - Experimentalgruppe

Experimentalgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	4	2	2	4
1. Mediengestaltung	1,5	2,0	2,0	2,0
2. metakognitiven Strategien	2,0	2,5	2,5	2,25
3. motivationale u. volitionale Aspekte	2,125	2,375	2,25	2,125
4. Erlebter Grad der Selbststeuerung	1,375	1,875	2,0	1,750
Summe der Skalen	7,0	8,75	8,75	8,125
5. Lernerfolg	26,0	20,0	16,0	23,0

Werte sind Mittelwerte; N=12

Stichprobe 1: Kontrollgruppe

Tab. 31: Untersuchung 1 - IGS - Einstellungsbefragung - Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	3	4	1	3
1. Mediengestaltung	1,5	2,0	3,5	1,0
2. metakognitiven Strategien	2,0	2,0	2,5	3,0
3. motivationale u. volitionale Aspekte	2,25	2	3,75	2,5
4. Erlebter Grad der Selbststeuerung	1,75	1,8	3,25	2,0
Summe der Skalen	7,50	7,75	13,0	8,5
5. Lernerfolg	19,0	21,0	23,0	21,7

Werte sind Mittelwerte; N=11

Wenn man die Summen der Textaufgabentests (Test: Fachwissen „Wärmelehre“-TCI-Pretest- TCI-Posttest) vergleicht, fällt auf, dass die Lernstilgruppen der Kontrollgruppe sich bzgl. der Anzahl der gelösten Aufgaben nur in vier Punkten unterscheiden, bei der Experimentalgruppe beträgt der Unterschied zehn Punkte. Eine Erklärung kann sein, dass die Lernenden das Lernen mit analogen Medien gewohnt sind und alle diese Herangehensweise kennen. Bei den Lernstilgruppen der Experimentalgruppe dagegen zeigt sich ein großer Streuungsbereich. Als Ursachen kommen der Lernstil und die Selbstregulation während des Lernprozesses in Betracht. Die Lernstilgruppe der Akkomodierer erreicht die besten Ergebnisse (26,0). Diese Lernstilgruppe ist offen für Neues, neugierig und experimentierfreudig. Sie bewerten ihre Fähigkeiten in der gestalteten Lernumgebung am besten. Die Lerngruppe der Konvergierer erreicht das zweitbeste Ergebnis in den Textaufgabentests (23,0). Ihre Stärke liegt in der Ausführung von Ideen mit hypothetisch deduktiven Schlussfolgerungen. Auch die untersuchten Aspekte bewertete die Lernstilgruppe am zweitbesten (8,125). Das schlechteste Ergebnis erreicht die Gruppe der

Divergierer (16,0). Obwohl, wegen der geringen Größe der Lernstilgruppe, die Ergebnisse nicht repräsentativ sind, sollten für diese Lerngruppe, Fallstudien in Form von virtuellen Beispielen zukünftig in die Lernumgebung implementiert werden. Diese Lerngruppe lernt durch konkrete Erfahrung und das Betrachten von unterschiedlichen Perspektiven. Das könnte den Divergierern ermöglichen, sich ausdauernder mit den Lerninhalten zu beschäftigen.

Stichprobe 2: Experimentalgruppe

Tab. 32: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Experimentalgruppe

Experimentalgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	6	7	-	9
1. Mediengestaltung	2,3	2,0	-	2,3
2. metakognitiven Strategien	3,2	2,0	-	1,7
3. motivationale u. volitionale Aspekte	2,8	2,0	-	2,2
4. Erlebter Grad der Selbststeuerung	2,8	2,0	-	1,9
Summe der Skalen	11,1	8,0	-	8,1
5. Lernerfolg	25,6	22,4	-	21,7

Werte sind Mittelwerte; N=22

Stichprobe 2: Kontrollgruppe

Tab. 33: Stichprobe 2 - Gymnasium - Einstellungsbefragung - Kontrollgruppe

Kontrollgruppe	Akkomodierer	Assimilierer	Divergierer	Konvergierer
Anzahl je Gruppe	2	9	1	8
1. Mediengestaltung	2,0	1,8	2,0	1,6
2. metakognitiven Strategien	2,0	1,8	2,0	2,2
3. motivationale u. volitionale Aspekte	2,4	2,2	1,75	2,1
4. Erlebter Grad der Selbststeuerung	2,0	1,8	2,25	2,1
Summe der Skalen	8,4	7,6	8,0	8,0
5. Lernerfolg	20,5	20,2	14,0	21,15

Werte sind Mittelwerte; N=23

Wenn man die Lernergebnisse beider Lernstilgruppen der Stichprobe 2 vergleicht, stellt man fest, dass alle Lernstilgruppen der Experimentalgruppe bessere Lernergebnisse erreicht haben als die Lernstilgruppen der Kontrollgruppe.

Die Streuung der Werte zwischen den Lernstilgruppen der Experimental- und der Kontrollgruppe ist gering. Eine Ausnahme ist das Ergebnis der Lernstilgruppe der Divergierer der Kontrollgruppe.

Da diese Lerngruppe nur aus einer Person bestand, ist das Ergebnis nicht aussagekräftig.

Betrachtet man hingegen beide Stichproben, verstärkt sich die Annahme, dass die Lerngruppe der Divergierer mit der gestalteten Lernumgebung Probleme hat. Gründe können im Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ liegen, der von dieser Lerngruppe am schlechtesten bewertet wird. So können die Lernenden dieser Lerngruppe gefördert werden, in dem sie nicht in Einzelarbeit lernen, sondern in Partnerarbeit und sie dadurch die soziale Einbindung im Lernprozess erleben. Auch in dieser Stichprobe erreichen die Akkomodierer (25,6) der Experimentalgruppe die besten Lernergebnisse in den drei Tests. Auffällig ist hier die schlechte Bewertung ihrer selbstregulatorischen Fähigkeiten.

Aus diesem Grund ist es von Vorteil, ein Training zu metakognitiven Strategien in das digitale Selbstlernmodul zu integrieren. Diese Trainingsmöglichkeit sollte im Vorfeld des Unterrichts angeboten werden und den Lernenden auch während der Selbstlernphasen zur Verfügung stehen. Die Lerngruppe der Assimilierer erreicht in der Experimentalgruppe das zweitbeste Lernergebnis (22,4), dicht gefolgt von der Lerngruppe der Konvergierer (21,7). Die beiden Lerngruppen bewerten ihre Lernvoraussetzungen etwa gleich gut.

Zur Verbesserung der Lernergebnisse der Assimilierer sollten für diese Lerngruppe, da sie sich dem Lernstoff theoretisch nähern, zukünftig Fachtexte, die sich mit unterschiedlichen Modellen befassen, integriert werden (Hamann, 2012). Um die Lernergebnisse der Konvergierer zu verbessern, sollten, da sie neben dem theoretischen Beschäftigen mit Fachtexten, auch sehr gern das Gelernte praktisch überprüfen, Simulationen in die Lernumgebung integriert werden. Die Lernenden können also selbstgesteuert ihre Lernumgebung nach ihren Lernpräferenzen anpassen und nach ihrer individuellen Geschwindigkeit der Informationsaufnahme und Verarbeitung lernen.

Fazit:

Die Ergebnisse zeigen, dass sich selbst kleine Lerngruppe heterogen zusammensetzen und sehr unterschiedlich lernen. Ableitend von diesem Ergebnis, ist es notwendig, unterschiedliche Lernformen anzubieten. Durch das integrierte Lernmodul werden die Voraussetzungen geschaffen, damit sich die Lernenden unterschiedlich dem Lernstoff nähern können. Die Vorteile digitaler Medien können zur Anpassung an die individuellen Lernvoraussetzungen der Lerngruppe, von der Lehrperson bei der Gestaltung der Lernumgebung genutzt werden. Im 2. Schritt können dann die Lernenden die gestaltete Lernumgebung nach ihren Lernpräferenzen selbstgesteuert für ihren individuellen Lernprozess anpassen. Im 3. Schritt kann die Lehrperson die Lernergebnisse auswerten und schneller feststellen, welche Lernende unter- bzw. überfordert sind, um diesen Lernenden dann Unterstützungs- bzw. Förderhilfen in ihre personalisierte Lernumgebung zu implementieren, aber auch um die Organisationsform des Unterrichts an die Erfordernisse der Lernenden anzupassen. Eine eindeutige Aussage inwieweit alle Lernstile von einer

integrierten Lernumgebung profitieren, kann nicht getroffen werden, da die Lerngruppe der Divergierer zu klein (Stichprobe 1) bzw. in Stichprobe 2 in der Experimentalgruppe dieser Lernstiltyp überhaupt nicht vorhanden war. Feststellen lässt sich, dass eine integrierte Lernumgebungen so gestaltet werden kann, dass die Lernenden der vier Lernstiltypen nach ihren individuellen Lernpräferenzen selbständig lernen können.

In der Lernstilanalyse wurde festgestellt, dass sich die Lerngruppen sehr heterogen zusammensetzen. Da stellt sich die Frage, ob sich innerhalb der Lerngruppen auch ein Leistungsgefälle zeigt. Aus diesem Grund soll diese Frage zusätzlich zu den Forschungsfragen diskutiert werden.

7.8 Diskussion weiterer ausgewählter Ergebnisse

Da die Lernumgebung für Lernende mit unterschiedlichen Voraussetzungen konzipiert werden soll, ist es notwendig das Leistungsgefälle innerhalb der Lerngruppen zu untersuchen. Um den wechselseitigen Einfluss zwischen den Aspekten (Lernvoraussetzungen, Grad der Selbststeuerung, Selbstregulation und Mediengestaltung) und dem Aspekt „Lernerfolg“ untersuchen zu können, wird eine multivariate Korrelationsanalyse durchgeführt.

7.8.1 Ergebnisse des schulspezifischen Vergleichs

Der schulspezifische Vergleich der beiden digitalen Lerngruppen (orange-IGS, blau-Gymnasium) im TCI-Pretest zeigt, einerseits, dass die Lernenden des Gymnasiums im Durchschnitt bessere Lernergebnisse als die Lernenden der IGS erreichen, aber auch andererseits, wie heterogen sich die beiden Lerngruppen in Bezug auf ihren Lernerfolg zusammensetzen (siehe Abbildung 11). Das bestätigt die Annahme der Lernstilanalyse, dass für die Gestaltung einer Lernumgebung die Zusammensetzung (Lernstiltypen) der Lerngruppe berücksichtigt werden muss.

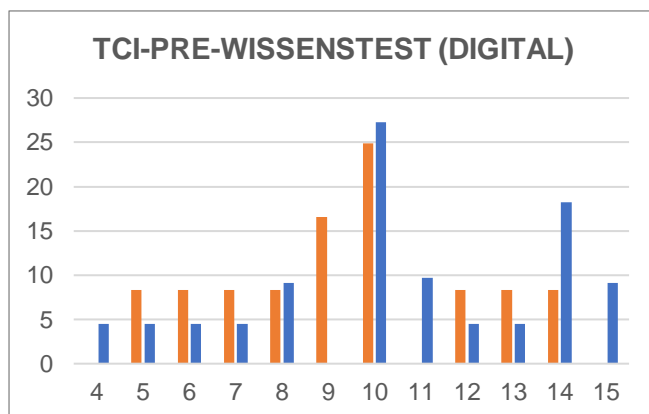


Abb. 11: Schulspezifischer Vergleich der Experimentalgruppen (orange - IGS; blau - Gymnasium) im TCI-Pretest

Der schulspezifische Vergleich der beiden Kontrollgruppen (orange-IGS, blau- Gymnasium) im TCI-Pretest zeigt ebenfalls, dass die Lernenden des Gymnasiums die besten Lernergebnisse erreichten. Es zeigt aber auch ein geringeres Leistungsgefälle innerhalb der Lerngruppen (siehe Abbildung 12) als bei den Experimentalgruppen.

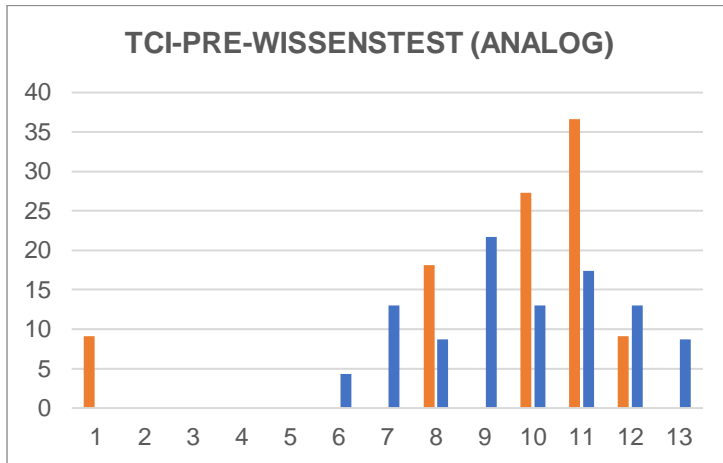


Abb. 12: Schulspezifischer Vergleich der Kontrollgruppen (orange - IGS; blau - Gymnasium) im TCI-Pretest

Ein Grund, dass das Leistungsgefälle bei den digitalen Lerngruppen stärker ausgeprägt ist als bei den Kontrollgruppen könnte sein, dass die Lernenden das selbständige Lernen mit digitalen Medien nicht gewohnt sind. Nach vierzehntägigem Lernen mit dem jeweiligen Medium wurde der Wissenstest wiederholt.

Der TCI-Postvergleich zeigte, dass die digitalen Lerngruppen anwendbares Wissen erworben haben und mindestens sechs Textaufgaben richtig gelöst haben. Das Leistungsgefälle innerhalb der Lerngruppen ist geringer geworden (siehe Abbildung 13).

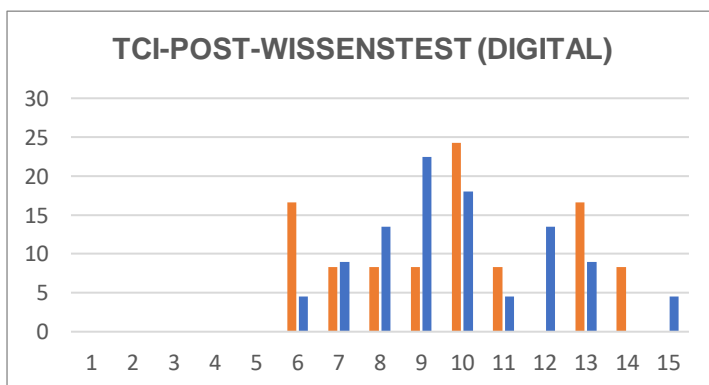


Abb. 13: Schulspezifischer Vergleich der Experimentalgruppen (orange - IGS; blau - Gymnasium) im TCI-Posttest

Der TCI-Posttest-Vergleich der Kontrollgruppen (analoge Medien) dagegen zeigt ein größeres Leistungsgefälle innerhalb der Lerngruppen.

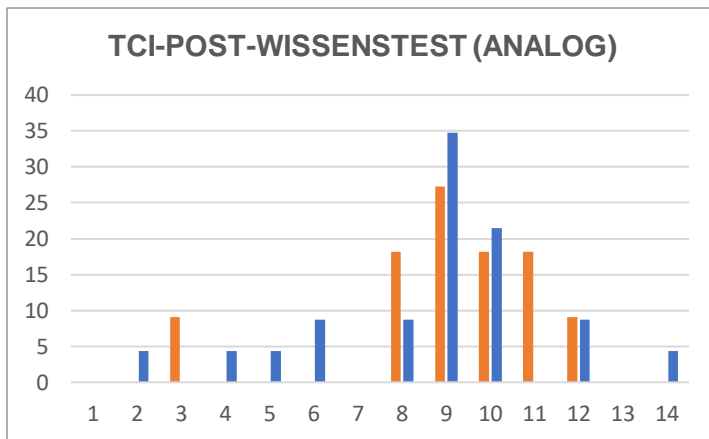


Abb. 14: Schulspezifischer Vergleich der Kontrollgruppe (orange - IGS; blau - Gymnasium) im TCI-Posttest

Um nach Gründen zu suchen, wurde in Stichprobe 2 zusätzlich nach dem Interesse am Fach Physik gefragt. 60% der Lernenden der Stichprobe gaben an, kein Interesse am Fach zu haben. Neben dem fehlenden Interesse für das Fach, kann das analoge Lernmedium der Kontrollgruppe eine weitere mögliche Ursache für den schlechteren Lernerfolg sein.

Aus diesem Grund wurden alle signifikanten Korrelationen dieser Lerngruppe analysiert. So wurde festgestellt, dass der Aspekt „Nützlichkeit der Lernmaterialien“ mit zwei Aspekten auf dem 0,01 Niveau positiv korreliert, zum einen auf einem hohen Niveau mit dem Aspekt „Ausdauer“ ($r = + 0,700$; $p < 0,001$) und zum anderen auf einem mittleren Niveau mit dem Aspekt „Lernmotivation“ ($r = + 0,686$; $p < 0,001$). Die Lernenden, die die Lernmaterialien nützlich finden, sind motiviert und lernen ausdauernd.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Gestaltung der Lernmaterialien die individuellen Lernvoraussetzungen der Lerngruppe berücksichtigt werden sollten.

Aus diesem Grund ist es notwendig, die signifikanten Korrelationen zwischen allen untersuchten Aspekten zu erfassen, um die Lernumgebung an die Lerngruppe anpassen zu können.

7.8.2 Ergebnisse der multivariaten Korrelationsanalyse

Mit der multivariaten Korrelationsanalyse wird untersucht, zwischen welchen Aspekten signifikante Korrelationen bestehen. Dabei erfolgt die Analyse nach den Lerngruppen (Experimental/Kontrollgruppe) von Stichprobe 1 und 2.

1. Signifikante Korrelationsmuster bei der Experimentalgruppe der Stichprobe 1 - IGS
Die Abbildung 15 zeigt ein signifikantes Korrelationsmuster in dessen Mittelpunkt die Aspekte „Planvolles Handeln“ und „Grad der Selbststeuerung“ stehen.

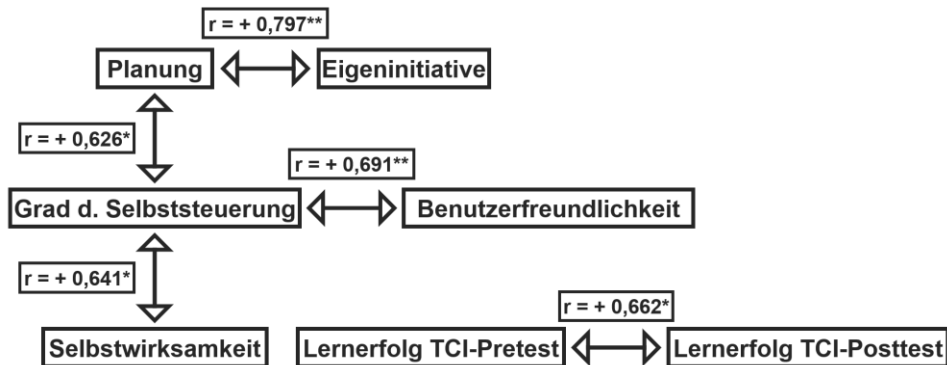


Abb. 15: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 1 - IGS

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

**.. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

So zeigt die zeigt die Korrelation zwischen den Aspekten „Planvolles Handeln“ (Planvolles Handeln) und „Eigeninitiative“ mit einem Wert von $r = +0,797$ auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,002$) einen hohen Zusammenhang. Der Zusammenhang ist positiv, was darauf hindeutet, dass je planvoller die Lernenden vorgehen, ihre Eigeninitiative zunimmt. Bedeutsam sind ebenfalls die Korrelationen zwischen dem Aspekt „Grad der erlebten Selbststeuerung“ und den Aspekten: 1. „Benutzerfreundlichkeit“ ($r = +0,691$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,013$), 2. „Selbstwirksamkeit“ ($r = +0,641$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,025$) und 3. „Planvollem Handeln“ ($r = +0,626$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,030$).

Die Wechselbeziehungen sind positiv, woraufhin angenommen werden kann, dass, je selbstgesteuerter sie lernen, desto stärker werden die Überzeugungen der Lernenden die Problemaufgaben auch lösen zu können, umso wichtiger ist für sie die Gestaltung der Lernmaterialien zur Erreichung des Lernziels.

Diese Annahmen werden durch die mittlere Korrelation zwischen dem Lernerfolg im TCI-Pretest zum Lernerfolg im TCI-Posttest ($r = +0,662$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,019$) bestätigt.

2. Signifikante Korrelationen bei der Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium
 In dieser Lerngruppe traten wie die Abbildung 16,17 und 18 zeigen, drei signifikante Korrelationsmuster auf.

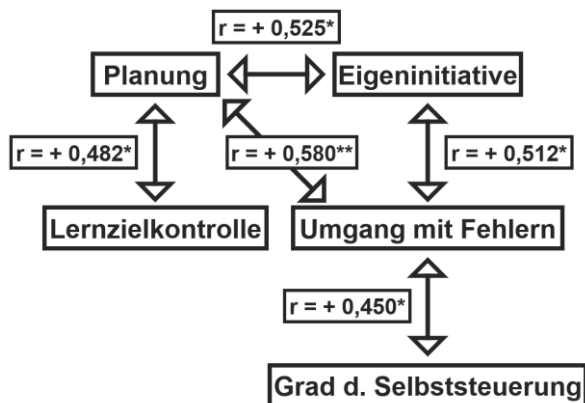


Abb. 16: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium Teil 1
 *. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.
 **. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Auch in dieser Lerngruppe korrelieren die Aspekte „Planvolles Handeln“ und „Eigeninitiative“, allerdings besteht nur ein mittlerer Zusammenhang ($r = +0,525$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,012$). Interessant ist aber der Einfluss des Aspektes „Umgang mit Fehlern“ auf die beiden Aspekte. Aus diesem Grund wurden Partielle Korrelationen berechnet, um den Zusammenhang zwischen zwei Aspekten, unter Berücksichtigung eines dritten Aspekts zu untersuchen. Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

1. Der Zusammenhang zwischen der „Planvolles Handeln“ und dem „Umgang mit Fehlern“ verringert sich auf $r = +0,425$, wenn man die „Eigeninitiative“ als Drittvariable berücksichtigt.
2. Der Zusammenhang zwischen der „Planvolles Handeln“ und dem „Eigeninitiative“ verringert sich auf $r = +0,325$, wenn man den „Umgang mit Fehlern“ als Drittvariable berücksichtigt.
3. Der Zusammenhang zwischen der „Eigeninitiative“ und dem „Umgang mit Fehlern“ verringert sich auf $r = +0,299$, wenn man die „Planvolles Handeln“ als Drittvariable berücksichtigt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass ein enger Zusammenhang zwischen dem Aspekt „Planvolles Handeln“ und „Umgang mit Fehlern“ ($r = +0,580$) auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,005$) angenommen werden kann. Ebenfalls zeigt das Korrelationsmuster, den positiven Zusammenhang des Aspektes „Umgang mit Fehlern“ und dem Aspekt „Grad der Selbststeuerung“ mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = +0,450$ auf dem 0,01 Niveau ($p = 0,036$) und den positiven Zusammenhang der Aspekte „Planvolles Handeln“ und „Lernzielkontrolle“ ($r = +0,482$) auf dem 0,05 Niveau ($p = 0,023$).

Nach diesem Korrelationsmuster kann angenommen werden, dass, je stärker die Lernenden, ihren Lernprozess planen, desto höher ist ihre Eigeninitiative und ihr Umgang mit Fehlern während des Lernprozesses. Sie überwachen ihre Lernhandlungen und führen eine Lernzielkontrolle selbstgesteuert durch. Ein zweites Korrelationsmuster zeigte sich in dieser Lerngruppe (siehe Abbildung 17).

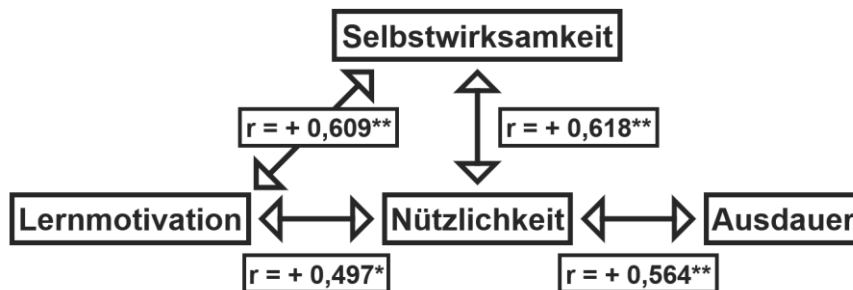


Abb. 17: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium Teil 2
 *. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.
 **. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Abbildung 17 zeigt signifikante Korrelationen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen „Selbstwirksamkeit“ und „Lernmotivation“ ($r = 0,609$; $p = 0,03$) und dem Aspekt „Nützlichkeit“ ($r = +0,618$; $p = 0,002$) durch den die Mediengestaltung bewertet wird. Auch hier wurden partielle Korrelationen berechnet, um den Einfluss der Drittvariable zu untersuchen. Die folgenden Ergebnisse traten auf:

1. Der Zusammenhang zwischen der „Selbstwirksamkeit“ und der „Lernmotivation“ verringert sich auf $r = +0,443$, wenn man die „Nützlichkeit“ als Drittvariable berücksichtigt.
2. Der Zusammenhang zwischen der „Selbstwirksamkeit“ und der „Nützlichkeit“ verringert sich auf $r = +0,459$, wenn man die „Lernmotivation“ als Drittvariable berücksichtigt.
3. Der Zusammenhang zwischen der „Lernmotivation“ und der „Nützlichkeit“ verringert sich am stärksten auf $r = +0,193$, wenn man die „Selbstwirksamkeit“ als Drittvariable berücksichtigt.

Das Ergebnis bestärkt die Annahme, über die Wichtigkeit der Selbstwirksamkeit. Die Lernenden, die überzeugt sind, dass sie aufgrund eigener Kompetenzen ihre Lernhandlungen erfolgreich selbst ausführen, sind motivierter und überzeugt, dass die gestalteten Lernmaterialien für ihr Lernen nützlich sind.

Die Annahmen werden durch das 3. signifikante Korrelationsmuster (siehe Abbildung 18) bestätigt. Je erfolgreicher die Lernenden den TCI-Pretest absolvieren, um so bessere Ergebnisse erreichen sie im TCI-Posttest ($r = +0,616$; $p = 0,002$).

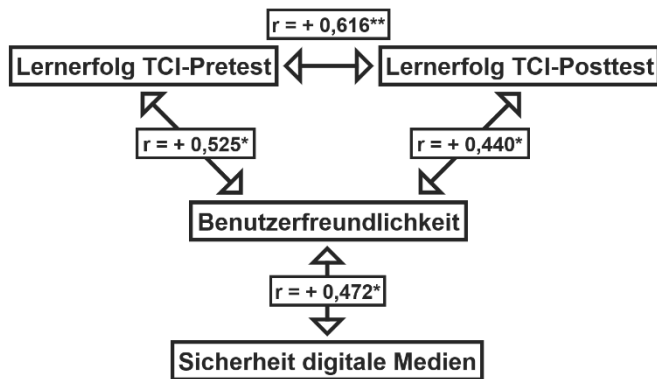


Abb. 18: Signifikante Korrelationen - Experimentalgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium Teil 3

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Ebenfalls zeigt das 3. Korrelationsmuster einen Zusammenhang des Aspektes

„Benutzerfreundlichkeit“ zum „Lernerfolg“ in beiden Wissenstests. Um den Einfluss des

Aspekts „Benutzerfreundlichkeit“ auf die Korrelation der beiden Wissenstest zu untersuchen,

wurde die partielle Korrelation berechnet. Das Ergebnis zeigt, dass sich der Zusammenhang

zwar verringert, aber immer noch ein mittlerer Zusammenhang besteht ($r = +0,504$). Nach

diesem Korrelationsmuster kann angenommen werden, dass ein positiver Zusammenhang

zwischen der Mediengestaltung und dem Lernerfolg besteht. Zu berücksichtigen ist, dass der

Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ mit dem Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“

positiv korreliert ($r = +0,472$; $p = 0,027$). Somit kann angenommen werden, dass je größer die

Kenntnisse der Lernenden im Umgang mit digitalen Medien sind, desto besser können die

Lernenden die Lernmaterialien nutzen und ihre Lernziele erreichen.

3. Signifikante Korrelationen bei der Kontrollgruppe der Stichprobe 1 - IGS

Die Abbildung 19 zeigt die signifikanten Korrelationen, die in dieser Lerngruppe auftraten.

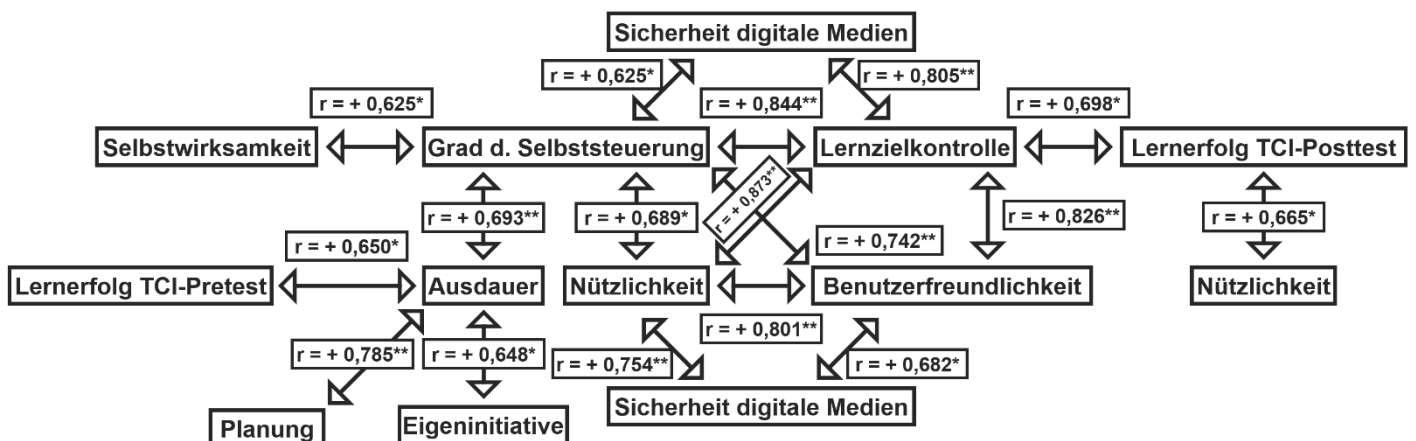


Abb. 19: Signifikante Korrelationen - Kontrollgruppe der Stichprobe 1 - IGS

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

In dieser Lerngruppe konnten vielfältige Korrelationen festgestellt werden. Die höchsten Zusammenhänge zeigen sich zwischen dem Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ und den Aspekten: 1. „Nützlichkeit“ ($r = +0,801$; $p = 0,003$) 2. „Lernzielkontrolle“ ($r = +0,826$; $p = 0,002$), 3. „Grad der Selbststeuerung“ ($r = +0,742$; $p = 0,009$) und 4. „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ ($r = +0,682$; $p = 0,021$).

Diese Ergebnisse lassen die Annahme zu, dass, je besser die Medienkenntnisse sind und je ansprechender die mediale Gestaltung der Lernmaterialien ist, desto selbstgesteuerter lernen die Lernenden und führen eine Lernzielkontrolle durch. Je besser die Lernenden die Lernzielkontrolle durchführen, desto bessere Ergebnisse erreichen sie im TCI-Posttest ($r = +0,698$; $p = 0,017$), wobei zu berücksichtigen ist, dass die Lernzielkontrolle positiv mit dem Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ ($r = +0,805$; $p = 0,003$) korreliert. Diese Annahme wird durch weitere signifikante Korrelationen bestärkt. Bedeutsam in diesem Korrelationsmuster ist der Aspekt „Grad der Selbststeuerung“, denn dieser Aspekt korreliert positiv mit 1. „Lernzielkontrolle“ ($r = +0,844$; $p = 0,001$), 2. „Benutzerfreundlichkeit“ ($r = +0,742$, $p = 0,009$), 3. „Ausdauer“ ($r = +0,693$; $p = 0,018$), 4. „Nützlichkeit“ ($r = +0,689$; $p = 0,019$), 5. „Selbstwirksamkeit“ ($r = +0,625$; $p = 0,040$) und 6. „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ ($r = +0,625$; $p = 0,040$). Auf Grund des Korrelationsmusters kann angenommen werden, dass, je größer die Sicherheit ist, über Medienkenntnisse zu verfügen und die Lernenden von ihrer Selbstwirksamkeit überzeugt sind, desto selbstgesteuerter und ausdauernder lernen sie und sind von der Nützlichkeit der Lernmaterialien überzeugt.

Der Aspekt „Ausdauer“ korreliert positiv mit den Aspekten „Planvolles Handeln“ ($r = +0,785$, $p = 0,004$) und „Eigeninitiative“ ($r = +0,648$; $p = 0,031$). Das Ergebnis lässt die Annahme zu, dass, je größer die Ausdauer der Lernenden ist, umso besser planen sie ihren Lernprozess und führen ihn erfolgreich aus, was sich in der Korrelation zum Aspekt „Lernerfolg im TCI-Pretest“ ($r = +0,650$; $p = 0,03$) zeigt und in der positiven Korrelation zwischen den Aspekten „Lernzielkontrolle“ und „Lernerfolg im TCI-Posttest“ ($r = +0,698$; $p = 0,017$).

4. Signifikante Korrelationen bei der Kontrollgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium
 In dieser Lerngruppe konnte das folgenden signifikante Korrelationsmuster festgestellt werden.

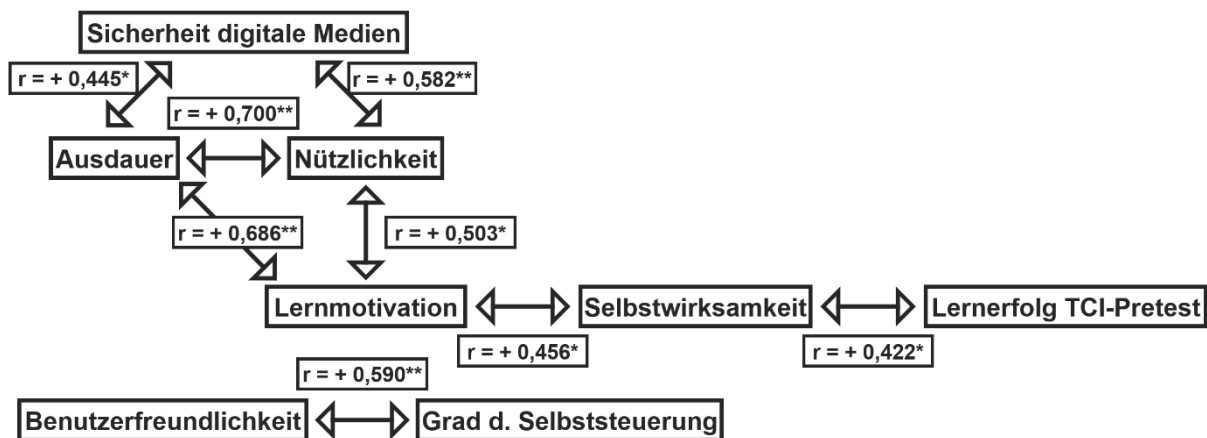


Abb. 20: Signifikante Korrelationen - Kontrollgruppe der Stichprobe 2 - Gymnasium

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Abbildung 20 zeigt, dass in dieser Lerngruppe die Aspekte „Ausdauer“ und „Nützlichkeit“ am stärksten korrelieren ($r = +0,700$; $p < 0,001$). Da der Aspekt „Lernmotivation“ ebenfalls mit dem Aspekt „Ausdauer“ ($r = +0,686$; $p < 0,001$) und dem Aspekt „Nützlichkeit“ ($r = +0,503$; $p = 0,014$) korreliert, wurde eine Partielle Korrelation durchgeführt mit folgendem Ergebnis:

1. Der Zusammenhang zwischen der „Ausdauer“ und der „Nützlichkeit“ verringert sich auf $r = +0,565$, wenn man die „Lernmotivation“ als Drittvariable berücksichtigt.
2. Der Zusammenhang zwischen der „Nützlichkeit“ und der „Lernmotivation“ verschwindet ($r = +0,04$), wenn man die „Ausdauer“ als Drittvariable berücksichtigt.
3. Der Zusammenhang zwischen der „Lernmotivation“ und der „Ausdauer“ verringert sich auf $r = +0,542$, wenn man die „Nützlichkeit“ als Drittvariable berücksichtigt.

Die Ergebnisse lassen die Annahme zu, dass, je nützlicher die zu vermittelnden Lerninhalte für die Lernenden gestaltet sind, desto höher ist die Ausdauer und die Lernmotivation.

Eine weitere positive Korrelation auf einem niedrigen bzw. mittleren Niveau konnte zwischen dem Aspekt „Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien“ und den Aspekten „Nützlichkeit“ ($r = +0,582$; $p = 0,004$) und „Ausdauer“ ($r = +0,445$; $p = 0,033$) festgestellt werden.

Das Ergebnis lässt die Annahme zu, dass je größer die Medienkenntnisse der Lernenden sind, desto ausdauernder nutzen die Lernenden die Lerninhalte.

Die Lernmotivation korreliert wiederum positiv mit dem Aspekt „Selbstwirksamkeit“ ($r = +0,456$; $p = 0,029$) und der Aspekt „Selbstwirksamkeit“ korreliert positiv mit dem Aspekt „Lernerfolg“ im TCI-Pretest ($r = +0,422$; $p = 0,045$).

Diese Korrelationen lassen die Annahme zu, dass je höher die Selbstwirksamkeitserwartung ist, desto motivierter sind die Lernenden, was sich in einem höheren Lernerfolg zeigt. Eine weitere positive Korrelation konnte zwischen dem Aspekt „Benutzerfreundlichkeit“ und dem Aspekt „Grad der Selbststeuerung“ ($r = +0,590$; $p = 0,003$) festgestellt werden. Das Ergebnis lässt die Annahme zu, dass je besser die Lernmaterialien zum Lösen der Problemaufgaben gestaltet worden sind, desto größer bewerten die Lernenden ihren erlebten Handlungsspielraum.

Fazit:

Die Korrelationsmuster zeigen, dass die Aspekte „individuelle Lernvoraussetzungen“, „Grad der Selbststeuerung“, Selbstregulation, „Mediengestaltung“ und „Lernerfolg“ in wechselseitiger Beziehung stehen. Auf Grund der Vielzahl der unterschiedlichen Korrelationsmuster ergeben sich die folgenden Annahmen:

1. Je planvoller die Lernenden vorgehen, umso stärker ist ihre Eigeninitiative und ihr Umgang mit Fehlern während des Lernprozesses.
2. Je besser die Lernmaterialien gestaltet sind, desto selbstgesteuerter handeln die Lernenden.
3. Je größer die Ausdauer der Lernenden ist, umso besser planen sie ihren Lernprozess und führen ihn bis zur Lernzielkontrolle selbstgesteuert aus.
4. Je größer die Selbstwirksamkeitserwartung, um so motivierter und ausdauernder sind die Lernenden beim Lernen, was sich in einem höheren Lernerfolg zeigt.
5. Je besser die Lernmaterialien zum Lösen der Problemaufgaben gestaltet worden sind, desto ausdauernder lernen die Lernenden und umso größer bewerten sie ihren erlebten Handlungsspielraum.
6. Je größer die Kenntnisse der Lernenden im Umgang mit digitalen Medien sind, desto besser können die Lernenden die Lernmaterialien nutzen und ihre Lernziele erreichen.

Um konkrete Aussagen aus den Annahmen für die Gestaltung einer integrierten Lernumgebung ableiten zu können, sollten Folgeanalysen durchgeführt werden, um zu untersuchen, welche Wechselbeziehungen zwischen den Aspekten bestehen, um die Lernumgebung anzupassen. Aufgrund der Stichprobengröße und des zuvor gewählten Skalenniveaus, können keine belastbaren Ergebnisse abgeleitet werden, aber die Ergebnisse liefern erste Anhaltspunkte für weitere Untersuchungen. Im Re-Design werden diese Aspekte als Bestandteil der Qualitätsdimensionen berücksichtigt. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Diskussion zusammengefasst, um Schlussfolgerungen für die Gestaltung des Re-Designs abzuleiten.

7.9 Zusammenfassung

Diese Arbeit hat das Ziel, eine integrierte Lernumgebung als eine Möglichkeit zur Lösung des Transferproblems (Vermeidung von trägem Wissen) innerhalb eines Design-Based-Research-Forschungsansatzes zu gestalten, im Unterricht zu erproben und aufgrund der Ergebnisse, Vorschläge zur Weiterentwicklung der Lernumgebung abzuleiten. Der DBR-Forschungsansatz geht davon, dass Lernumgebungen im komplexen Wechselspiel der Einflussfaktoren untersucht werden sollten. Aus diesem Grund wurde auf eine strenge Kontrolle der Randbedingungen verzichtet, um die vermutete Wirksamkeit der Lernumgebung nicht einzuschränken (Wilhelm, 2014). Im Vordergrund stand also nicht, allgemeingültige Wirkungsaussagen zu treffen, sondern zu versuchen, den Lernprozess in seiner Komplexität zu erfassen (Reinmann, 2005).

So wurde aufgrund der theoretischen Erkenntnisse dieser Arbeit die Lernumgebung „Wärmelehre“ für den Einsatz im Physikunterricht der Sekundarstufe I gestaltet.

Die praktische Erprobung der Lernumgebung fand an zwei Schulformen (IGS und Gymnasium) im Rahmen einer quasi-experimentellen Feldstudie statt. Die Lernenden hatten die Aufgabe sich in Einzelarbeit, selbstgesteuert Fachwissen anzueignen und dieses dann zum Lösen von 20 problemhaltigen Textaufgaben zu nutzen. Zur Unterstützung standen der Experimentalgruppe ein digitales Lernmodul und der Kontrollgruppe ein analoges Lernmodul mit den gleichen 15 Lerninhalten zur Verfügung.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch das Lernen mit digitalen und analogen Medien, Fachwissen aufgebaut werden konnte, dass zum Lösen der problembasierten Textaufgaben erfolgreich genutzt wurde. Die Lernenden der Experimentalgruppen (digitale Medien) erreichten bessere Lernerfolge, die sich aber nicht signifikant von denen der Kontrollgruppen (analoge Medien) unterschieden.

Um die Wahrnehmungen der Lernenden zu untersuchen, inwieweit sie in der Lernumgebung selbstgesteuert lernen konnten, wurde der „Grad der erlebten Selbststeuerung“ vor und nach der Intervention erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lernenden der Experimentalgruppen beider Stichproben ihren Handlungsspielraum größer einschätzen als die Lernenden der Kontrollgruppen. Die statistische Auswertung zeigte, dass sich die Lerngruppen (analog/digital) im Vergleich der Veränderung des Grades der erlebten Selbststeuerung signifikant unterscheiden.

Der schulspezifische Vergleich (IGS und Gymnasium) zeigte, dass die Experimentalgruppen (digitale Lernmedien) beider Stichproben bessere Ergebnisse erzielt haben als die Lernenden der Kontrollgruppen beider Stichproben. Das Leistungsgefälle innerhalb der Lerngruppen war nach dem Interventionszeitraum bei den Experimentalgruppen geringer als bei den Kontrollgruppen. Um den Lernprozess in seiner Komplexität zu untersuchen, umfasste das Unterrichtskonzept drei Unterrichtseinheiten zu jeweils 90 min und eine

vierzehntägige Interventionsphase. Während der 1. Unterrichtseinheit erfolgte die Erfassung des Vorwissens, der individuellen Lernvoraussetzungen und des Lernstils der Lernenden. Diese Ergebnisse bildeten die Grundlage für die fachliche und lernstilgerechte Gestaltung der Lernmaterialien. Die Ergebnisse im Vortest unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Experimental- und den Kontrollgruppen beider Stichproben.

Die Analyse der individuellen Lernvoraussetzungen bestätigte die Annahme, dass sich die Aspekte wechselseitig beeinflussen. Um die Motivation der Lernenden nicht zu verlieren, wurden nur sechs Aspekte erfragt. Die Ergebnisse zeigten, dass mit den relativ wenigen Aspekten der IST-Zustand der Lernenden in Bezug auf ihren motivationalen Zustand und ihre metakognitiven Strategien erfasst werden kann.

Die Ergebnisse der Lernstilanalyse zeigten, dass sich selbst kleine Lerngruppen heterogen zusammensetzen. Durch die Kenntnis ihres individuellen Lernstils wurden die Lernenden zur Reflexion ihres Lernprozesses angeregt. Der Lehrende konnte auf Grundlage der Zusammensetzung der Lerngruppe, die Lernumgebung gestalten.

Anhand der Ergebnisse können zukünftig Lernerprofile erstellt werden, um individuelle Fördermaßnahmen abzuleiten. Ziel ist, dass die Lehrenden erfahren, welche Vorstellungen die Lernenden über ihren Lernprozess haben und welche Stärken und Schwächen sie bei den einzelnen Lernenden berücksichtigen müssen, um die Lernumgebung gestalten und anpassen zu können.

Innerhalb der 2. Unterrichtseinheit hatten die Lernenden die Aufgabe, selbstgesteuert in Einzelarbeit, problemhaltige Textaufgaben zum Thema „Wärmelehre“ zu lösen. Bei Bedarf standen ihnen digitale bzw. analoge Medien zur fachlichen Unterstützung zur Verfügung. Auf diese Weise konnten die Lernenden Erfahrungen beim Lernen mit digitalen Medien sammeln. Während der vierzehntägigen Übungsphase wurde das Thema „Wärmelehre“ vertieft und die Lernenden konnten sich mit Unterstützung digitaler bzw. analoger Medien mit dem Thema auseinandersetzen. Die dritte Unterrichtseinheit wurde ohne mediale Unterstützung durchgeführt. Hier hatten die Lernenden die Aufgabe, sich selbstgesteuert mit demselben Textaufgabentest zu beschäftigen. Ziel war zu untersuchen, inwieweit die Lernenden, durch den Einsatz digitaler bzw. analoger Medien in Selbstlernphasen, aktiviert werden konnten, problembasierte Textaufgaben zu lösen und ob durch die häufige Verwendung digitaler bzw. analoger Medien die Problemlösefähigkeiten gefördert werden konnten. Um die Forschungsergebnisse statistisch zu untersuchen, wurden aufgrund krankheitsbedingter Ausfälle in beiden Stichproben, parameterfreie Verfahren angewandt. So bestand die Stichprobe 1 aus 23 Teilnehmern und die Stichprobe 2 aus 45 Teilnehmern.

Die Analysen zur Beantwortung der Forschungsfragen zeigen folgende Ergebnisse:

1. Die Korrelationsanalyse zeigt, dass Wechselbeziehungen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen und in Bezug zum „Lernerfolg“ bestehen (Forschungsfrage 1)
2. Der Gruppenvergleich zeigt, dass sich die Lerngruppen nicht signifikant in ihrem Lernerfolg (Anzahl der richtig gelösten Textaufgaben) sowohl im TCI-Pretest als auch im TCI-Posttest unterscheiden (Forschungsfrage 2).
3. Der Gruppenvergleich zeigt, dass sich die Lerngruppen (analog/digital) im Vergleich der Veränderung des Grades der erlebten Selbststeuerung signifikant unterscheiden. Die Lernenden der Experimentalgruppe bewerten ihre Möglichkeiten in der digitalen Lernumgebung selbstgesteuert zu lernen positiver als die Lernenden der Kontrollgruppe (Forschungsfrage 3).
4. Die Korrelationsanalyse zeigt, dass zwischen den Aspekten der „Selbstregulation“ und in Bezug auf den „Lernerfolg“ positive Wechselbeziehungen bestehen (Forschungsfrage 4).
5. Die Korrelationsanalyse zeigt, dass zwischen den Aspekten der Mediengestaltung und in Bezug zum Lernerfolg, positive Wechselbeziehungen bestehen (Forschungsfrage 5).
6. Die lernstilabhängige Analyse zeigt, dass drei der vier Lernstile von der digitalen Lernumgebung profitieren. Über die Lerngruppe der Divergierer kann keine Aussage getroffen werden, da sie mengenmäßig zu gering bzw. in Stichprobe 2 gar nicht vorhanden war (Forschungsfrage 6).

Als Fazit kann festgestellt werden, dass mit der gestalteten Lernumgebung, bestehend aus einem Aufgaben- und einem Selbstlernmodul, den Lernenden eine Lernumgebung zur Verfügung steht, die durch ihre Struktur, die verständlichen Lerninhalte und die einfache Bedienbarkeit im Physikunterricht eingesetzt werden kann. Die Mehrheit der Lernenden konnten sich selbständig Wissen aneignen und es zum Lösen der Textaufgaben nutzen. Festgestellt wurde aber auch, dass ein Leistungsgefälle innerhalb der Lerngruppen beider Stichproben besteht. Demnach scheint es für einen guten Lernerfolg nicht auszureichen, den Lernenden nur eine Lernumgebung zur Verfügung zu stellen, in der sie ihren Lernprozess selbständig steuern, sondern die Lernumgebung muss an die Lernenden der Lerngruppe angepasst werden können. Der Vorteil der gestalteten digitalen Lernumgebung ist, dass sie problemlos an die individuellen Lernvoraussetzungen der Lerngruppe, das Vorwissen und den Lernstil angepasst werden kann.

Die untersuchten Aspekte dieser Arbeit werden als Qualitätsdimensionen, sowohl für die Weiterentwicklung im Re-Design als auch als diagnostisches Werkzeug genutzt.

So wird es für die Lehrenden möglich, Lernerprofile zu erstellen, um die Lernumgebung an die aktuelle Lerngruppe anzupassen. Durch das regelmäßige Lernen in der Lernumgebung, sind dann auch die Lernenden in der Lage, ihre Lernumgebung autonom anzupassen.

Die Vision ist, dass adaptive Lernprogramme auf die Lernerprofile reagieren und so die Lernenden individueller gefördert werden.

Aus der Analyse der Ergebnisse können die folgenden methodischen Überlegungen für den 2. Zyklus des DBR-Forschungsansatz zur dynamischen Weiterentwicklung der Lernumgebung abgeleitet werden:

1. Der Test zum Fachwissen (siehe Kapitel 6.1.1) sollte ebenfalls aus 20 Aufgaben bestehen, um die Daten mit dem TCI-Pretest und TCI-Posttest vergleichen zu können (siehe Kapitel 6.1.2.1 und 6.1.2.2).
2. Das Interesse am Fach und die Schulnote im Fach sollte erfasst werden, um den Unterstützungsbedarf festzustellen (siehe Kapitel 7.8.1).
3. Um den Lernprozess der Lernenden individueller beurteilen zu können, sollten die Lernenden ein Lerntagebuch führen (siehe Kapitel 6.2.3).
4. Bestandteil der Wissens-tests sollte ein offener Teil für Anmerkungen der Lernenden sein, um schneller auf individuelle Probleme reagieren zu können (siehe Kapitel 6.2.1).
5. Die Lernenden sollten die Sozialform (Einzel-, Partner- und Lernstilgruppe) selbst wählen, da die Kommunikation beim Lernen mit digitalen Medien von Bedeutung ist (siehe Kapitel 8.2).
6. Den Lernenden sollte mitgeteilt werden, dass die Unterrichtseinheit nicht bewertet wird (siehe Kapitel 5.5).
7. Der Interventionszeitraum sollte verlängert werden, dass die Lernenden genügend Zeit zum selbstgesteuerten Lernen in der integrierten Lernumgebung haben (siehe Kapitel 6.2.2).
8. Um die Lernenden nicht zu überlasten, sollte die Studie aus 4 Messzeitpunkten bestehen (siehe Kapitel 5.5).
9. Da es innerhalb des Untersuchungszeitraums zu krankheitsbedingten Ausfällen kommen kann und Nacherhebungen aus schulorganisatorischen Bedingungen oft nicht möglich sind, sollte ein Stichprobenumfang ($n > 30$) gewählt werden, da für viele statistische Prüfverfahren die Normalverteilung eine Voraussetzung ist (siehe Kapitel 5.8).
10. Da sich die Persönlichkeitseigenschaften und Einstellungen der Lernenden wechselseitig beeinflussen, sollten die schriftlichen Befragungen nicht nur aus geschlossenen Fragen, sondern auch aus offenen Fragen bestehen, um bisher unerkannte Zusammenhänge aufzudecken und weiter untersuchen zu können (siehe Kapitel 6.1.3).

11. Die 10. Jahrgangsstufe eignet sich, um problemhaltige Textaufgaben zum Thema „Wärmelehre“ in Selbstlernphasen des Unterrichts zu implementieren (siehe Kapitel 5.4.1 und 5.4.2).
12. Die Zeitdauer von 90 min zum Lösen der Textaufgaben im TCI-Pretest und die Zeitdauer von 60 min im TCI-Posttest war ausreichend (siehe Kapitel 5.5).
13. Um die Vorstellungen und Einstellungen der Lehrperson zu erfahren, sollte nach jedem Messzeitpunkt eine schriftliche Befragung erfolgen (siehe Kapitel 5.4.1 und 5.4.2).

Neben den methodischen Vorschlägen und den gestalterischen Anpassungen sollten im Re-Design auch die festgestellten Wechselbeziehungen zwischen den Aspekten der Lernumgebung als Qualitätsdimensionen berücksichtigt werden.

8 Gestaltung des Re-Designs

Für den 2. Zyklus des Design-Based-Research Forschungsansatzes werden Vorschläge, die aufgrund der theoretischen Erkenntnisse und der Ergebnisse der quasi-experimentellen Feldstudie (1. Zyklus) gewonnen wurden, zur Optimierung der Lernumgebung (vgl. Kapitel 7.9) und der Lernmaterialien vorgestellt. Die Erkenntnisse des 2. Zyklus bilden die Grundlage für den 3. Zyklus. Ziel ist, die gestaltete Lernumgebung nach den theoretischen Erkenntnissen und den Ergebnissen der praktischen Erprobung weiterzuentwickeln, um sie problemlos im Unterricht einsetzen zu können.

8.1 Qualitätsdimensionen für integrierte Lernumgebungen

Bei der Analyse der Aspekte der Lernumgebung wurden signifikante Wechselbeziehungen sichtbar. Diese Aspekte sollten als Qualitätsdimensionen bei zukünftigen zu gestaltenden integrierten Lernumgebungen berücksichtigt werden (siehe Abbildung 21).

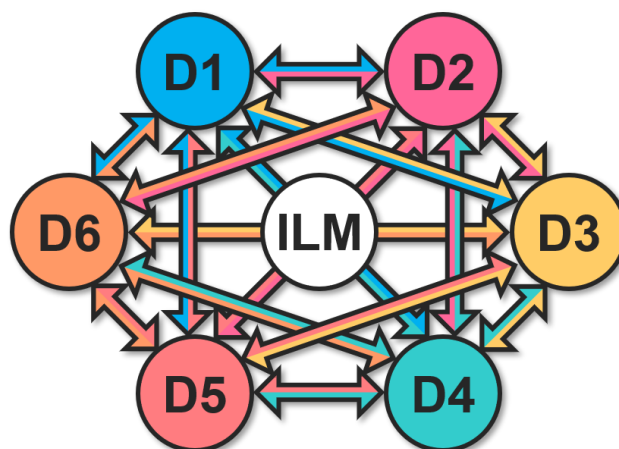


Abb. 21: Qualitätsdimensionen integrierter Lernumgebungen nach Pietrusky (D1 = Lernerfolg; D2 = Grad der Selbststeuerung; D3 = Individuelle Lernvoraussetzungen; D4 = Lernstil (Individuelles Lernverhalten); D5 = Mediengestaltung; D6 = Selbstregulation; ILM = Integrierte Lernumgebung)

Zu welchen Zeitpunkten die Qualitätsdimensionen für eine integrierte Lernumgebung erfasst werden sollten, verdeutlicht das folgende Arbeitsmodell (siehe Abbildung 22).

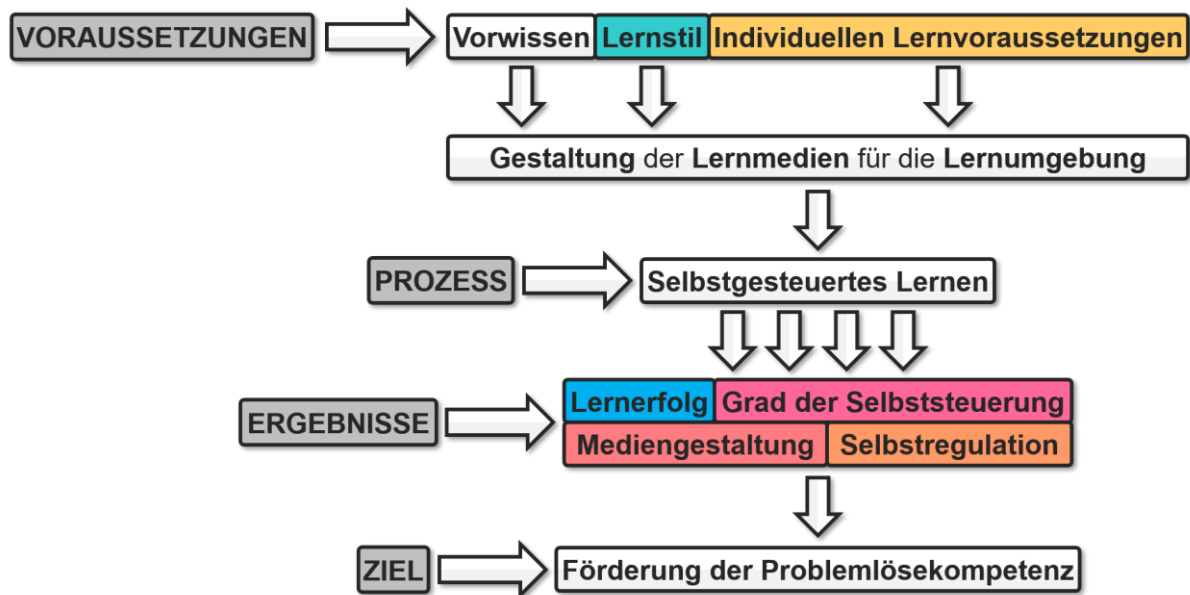


Abb. 22: Arbeitsmodell Qualitätsdimensionen für eine Integrierte Lernumgebung nach Pietrusky

Als Voraussetzungen für die Gestaltung einer integrierten Lernumgebung sollte das Vorwissen, der Lernstil und die individuellen Lernvoraussetzungen der Lerngruppe erfasst werden. Die Ergebnisse bilden, neben der Berücksichtigung der lernpsychologischen Theorien (vgl. Kapitel 2.4) und der Gestaltungsprinzipien (vgl. Kapitel 2.5), die Basis zur Gestaltung der Lernmedien für die integrierte Lernumgebung. Als Organisationsform des Unterrichts wird das selbstgesteuerte Lernen gewählt. Die Ergebnisse des selbstgesteuerten Lernens werden durch die Qualitätsdimensionen Selbststeuerung, Selbstregulation, Mediengestaltung und Lernerfolg diagnostiziert.

Das Modell kann von den Lehrenden zum einen bei der Gestaltung von integrierten Lernumgebungen genutzt werden und zum anderen zur individuellen Diagnose nach dem Lernen, um die Lernumgebung an die Lernenden der aktuellen Lerngruppe anzupassen, mit dem Ziel, die Lernenden individueller zu fördern. Um das Interesse der Lernenden zu steigern, werden sie in den Planungs- und Auswertungsprozess einbezogen. Ziel ist, dass die Lernenden schrittweise die Verantwortung für ihren Lernprozess übernehmen und eine autonome Problemlösekompetenz entwickeln. Unterstützt werden sollten sie durch die Lehrenden, denen zukünftig adaptive Lernprogramme zur Verfügung stehen.

8.2 Ablauf des 2. Zyklus

Ableitend von der Diskussion der Ergebnisse kann die folgende Vorgehensweise für den 2. Zyklus des DBR-Forschungsansatz zur dynamischen Weiterentwicklung der Lernumgebung abgeleitet werden. Um die Lernenden durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Tests nicht zu überfordern, besteht der 2. Zyklus der Studie, neben den Vortermeninen wie im 1. Zyklus, nicht aus drei, sondern aus vier Messzeitpunkten.

Voranalyse

Innerhalb der Voranalyse werden die Tests und Befragungen an zwei Messzeitpunkten durchgeführt.

1. Messzeitpunkt

Am 1. Messzeitpunkt werden zwei Vortests durchgeführt.

Der 1. Vortest ist ein Wissenstest (Test: Fachwissen „Wärmelehre“). Da, für jegliches Lernen das Vorwissen entscheidend ist, ist der Test zur Erfassung des Vorwissens der Lernenden umfangreicher als in der quasi-experimentellen Feldstudie des 1. Zyklus. So sollen die Lernenden innerhalb eines Zeitrahmens von 60 min, 20 Fragen zum Thema „Wärmelehre“ in Einzelarbeit beantworten. Ziel ist, die Vergleichbarkeit der Stichprobe sicherzustellen.

Der 2. Vortest ist eine Probebefragung zur Bestimmung der internen Konsistenz, um die Reliabilität der Fragebögen abschätzen zu können. Die Lernenden sollen innerhalb von 30 min die Fragebögen ausfüllen.

2. Messzeitpunkt

Am 2. Messzeitpunkt wird eine schriftliche Befragung und der Lernstiltest nach Kolb durchgeführt. Die Lernenden haben zuerst die Aufgabe, den schriftlichen Fragebogen (30 min) zu den individuellen Lernvoraussetzungen (Schülerfragebogen – Medien 1) selbständig auszufüllen. Der standardisierte Fragebogen zu den individuellen Lernvoraussetzungen wird um einen offenen Teil erweitert. So erhalten die Lehrenden Anregungen und können auf mögliche Probleme reagieren. Nach der schriftlichen Befragung folgt eine Pause (10 min), damit die Lernenden sich auf den Lernstiltest einstellen können.

Nach der Pause werden die Lernenden vom Testleiter informiert, mit welchem Ziel der Lernstiltest durchgeführt wird. Im Anschluss können die Lernenden in einer Diskussionsrunde ihre Meinungen austauschen und offene Fragen ansprechen (20 min). Der Lernstiltest wird dann in der gleichen Form wie im 1. Zyklus durchgeführt. Für das Beantworten des Lernstiltest stehen den Lernenden 30 min zur Verfügung.

Der Zeitraum zwischen dem 2. Messzeitpunkt und dem Beginn der Hauptanalyse (3. Messzeitpunkt) beträgt eine Woche.

Der Lernstiltest wird ausgewertet, dass der Lehrende weiß, wie sich die Lerngruppe zusammensetzt und in welcher Form die Lernumgebung angepasst werden muss.

Hauptanalyse

Innerhalb der Hauptanalyse werden die Tests und Befragungen an zwei Messzeitpunkten durchgeführt.

3. Messzeitpunkt

Am 3. Messzeitpunkt erfolgt die Bekanntgabe des individuellen Lernstils, die Bearbeitung des Wissenstests (TCI-Pretest) und eine schriftliche Befragung des unterrichtenden Lehrers. Zuerst werden den Lernenden die Ergebnisse zu ihren Lernstiltests erläutert und dann wird ihnen der ermittelte Lernstiltyp mitgeteilt. Im Anschluss haben die Lernenden dann die Möglichkeit zu entscheiden, ob sie den folgenden Wissenstest (TCI-Pretest) in Einzelarbeit, in Partnerarbeit oder in ihrer Lernstilgruppe bearbeiten möchten.

Die Organisationsform des Unterrichts ist das selbstgesteuerte Lernen. Die Lernenden haben in ihrer gewählten Sozialform 90 min Zeit, um 20 problemhaltigen Testaufgaben zu lösen. Hintergrund der Änderung der Sozialform ist die Berücksichtigung der Ergebnisse der Metastudie am Zentrum für Internationale Vergleichsstudien (2017), die einen größeren Effekt beim Lernen mit digitalen Medien festgestellt hat, wenn in Paaren an einem Gerät gelernt wurde (Hillmayr, 2017). Da die Kommunikation von mindestens zwei Personen nach den Ergebnissen der Metastudie ein wichtiger Punkt beim Lernen mit digitalen Medien ist, soll innerhalb der quasi-experimentellen Feldstudie des 2. Zyklus untersucht werden, inwieweit die Sozialform, Einfluss auf den Lernerfolg hat und ob lernstilabhängige Unterschiede bei der Wahl der Sozialform feststellbar sind und wie sich diese auswirken. Um den individuellen Lernprozess zu untersuchen, sollen die Lernenden ihre Erfahrungen in einem Lerntagebuch festhalten. Wichtig ist hierbei auch zu erfragen, ob die Lernenden sich befähigt fühlen, selbständig zu lernen (erlebter Handlungsspielraum) und wie sicher sie sich im Umgang mit digitalen Medien fühlen. Nach der Selbstlernphase wird der unterrichtende Lehrer zu seinen Erfahrungen beim Lernen mit einer digitalen Lernumgebung schriftlich befragt (Fragebogen: Digitale Medien).

4. Messzeitpunkt

Am 4. Messzeitpunkt wird ein Wissenstest (TCI-Posttest) und eine schriftliche Befragung durchgeführt. Am 4. Messzeitpunkt wird der TCI-Pretest wiederholt (TCI-Posttest), aber diesmal ohne mediale Unterstützung. Die Lernenden dürfen entscheiden, ob sie in

Einzelarbeit, Partnerarbeit oder in ihrer Lernstilgruppe lernen. Auch diesmal ist die Organisationsform des Unterrichts das selbstgesteuerte Lernen. Die Lernenden haben 60 min Zeit, sich mit den 20 problemhaltigen Testaufgaben zu beschäftigen.

Dann folgt eine Pause von 10 min, um die Lernenden nicht zu überfordern und sie über die folgende schriftliche Befragung zu informieren.

Die Lernenden haben nun die Aufgabe, den Fragebogen (20 min) zur Mediengestaltung und zu Aspekten der Selbstregulation (Schülerfragebogen - Medien 2) selbständig auszufüllen.

Der Untersuchungsverlauf des 2. Zyklus sieht wie folgt aus (siehe Abbildung 23).

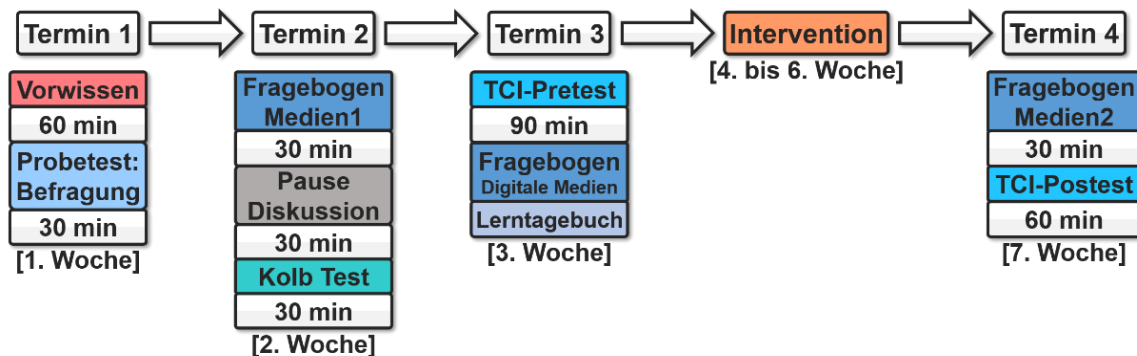


Abb. 23: Untersuchungsablauf (2. Zyklus), eigene Darstellung

Wenn es vom Lehrplan möglich ist, sollte der Interventionszeitraum zwischen 3. und 4. Messzeitpunkt von 2 Wochen auf 3 bis 4 Wochen verlängert werden, damit die Lernenden mehr Zeit zum selbstgesteuerten Lernen haben. In diesem Zeitraum lernen die Lernenden jeder Lerngruppe mit dem jeweiligen Medium der Lernumgebung.

Das Selbstlernmodul wird aufgrund der Erkenntnisse des 1. Zyklus wie folgt erweitert:

- Die Animationsmodelle werden zusätzlich in Lernvideos umgewandelt. Sie motivieren die Lernenden durch Töne, Bilder und Bewegungen. Die Lernenden haben die Möglichkeit zu interagieren und zu wiederholen. Vorteil ist, wie bei den Animationsmodellen, dass komplexe Sachverhalte schnell verständlich dargestellt werden können.
- Ebenfalls werden interaktive Übungen in das Selbstlernmodul und in die Lernvideos mithilfe des HTML Plugins H5P implementiert. Diese erlauben den Lernenden, ihr Wissen ohne Kontrolle der Lehrperson, zu überprüfen und beliebig oft zu wiederholen.
- Die Visualisierungen der Lerninhalte und die Animationsabfolgen werden überarbeitet.

Des Weiteren werden die Lerninhalte für die Lernstiltypen aktualisiert, indem Fachtexte, ggf. Simulationen und Fallbeispiele mit Lösungsschema in das Selbstlernmodul aufgenommen werden.

9 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass eine integrierte Lernumgebung mit digitalen Medien eine Möglichkeit ist, um das Transferproblem „Vermeidung von trägem Wissen“ im Physikunterricht zu lösen. Die Lernenden konnten sich mit der gestalteten Lernumgebung selbstgesteuert Fachwissen aneignen und dieses dann aktiv beim Lösen von problemhaltigen Textaufgaben nutzen. Aus diesem Grund sollte eine problembasierte Lernumgebung regelmäßig im Unterricht eingesetzt werden. Aufgrund der theoretischen Erkenntnisse und den Ergebnissen aus der quasi-experimentellen Feldstudie, kann auf Grundlage des Arbeitsmodells „Qualitätsdimensionen für Integrierte Lernumgebung (vgl. Kapitel 7.9) eine vorläufige Checkliste mit Aspekten aufgestellt werden, die bei der Einbindung einer integrierten Lernumgebung in den Unterricht zu beachten sind:

1. Erfassung des Vorwissens (siehe Kapitel 6.1.1), des Interesses am Fach und der Schulnote, denn alle Aspekte bilden die Grundlage für den Lernprozess. Die Erfassung kann mithilfe von Learning Analytics Funktionen in Learning Management Systemen (Bsp. Moodle) erfolgen oder über Quizanwendungen im Internet wie Kahoot.
2. Erfassung der individueller Lernvoraussetzungen, denn sie zeigen den IST-Zustand der Lernenden. Die Erfassung kann entweder mithilfe eines standardisierten Fragebogens erfolgen oder durch digitale Tools (Bsp. SurveyMonkey), um die Auswertungszeit zu minimieren.
3. Erfassung des Lernstils (mithilfe des Kolb-Tests), denn sie zeigen, wie heterogen sich die Lerngruppe zusammensetzt. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Anpassung der zu gestaltenden Lernumgebung.
4. Bei der Konzeption der Lernumgebung sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:
 - 4.1 Das Fachwissen sollte lernstilorientiert mithilfe analoger und digitaler Selbstlernmodule angeboten werden. Um diese Forderung umzusetzen, werden verschiedene Repräsentationsformen (Animationen, Simulationen, Screens und Lernvideos) genutzt.
 - 4.2 Das Fachwissen sollte in kompakten Lerneinheiten unterteilt werden, um den Lernenden individuelle Lernwege zu ermöglichen.
 - 4.3 Nach den Theorien zum multimedialen Lernen wird das Fachwissen einheitlich und verständlich durch die Gestaltungsprinzipien konzipiert.
 - 4.4 In das Selbstlernmodul werden interaktive Übungen, in Kombination mit Gamification Ansätzen und Lernvideos zum ort- und zeitunabhängigen Wiederholen implementiert.

4.5 Die Organisationsform bzw. Lernform ist das selbstgesteuerte Lernen innerhalb einer organisierten Unterrichtsstruktur mit verschiedenen Medien nach dem Blended-Learning-Konzept. Bei diesem Ansatz werden elektronische Lernformen mit traditionellen Lernformen verbunden. Eine weitere Organisationsform wäre das Flipped-Classroom-Konzept, bei dem sich die Lernenden zuhause mit der Theorie beschäftigen und die praktischen Übungen dazu in der Schule stattfinden.

4.6 Die Sozialform (Einzelarbeit, Partnerarbeit oder Lernstilgruppen) sollten die Lernenden individuell bestimmen können.

Nach Auswertung der Ergebnisse des 2. Zyklus des Design-Based Forschungsansatzes sollte die Checkliste innerhalb einer erneuten Beurteilungsphase angepasst werden, um das Arbeitsmodell für Qualitätsdimensionen integrierter Lernumgebungen nach Pietrusky zu erweitern.

Die Arbeit hat gezeigt, dass es möglich ist, eine integrierte Lernumgebung mit digitalen Medien so zu gestalten, dass die Lernenden aktiviert werden und Interesse haben, problembasierte Textaufgaben zu lösen. Die Befragung (Tabelle 34) der Lernenden zeigt, dass sie den Wunsch haben, regelmäßig mit digitalen Medien zu lernen, da sie selbstgesteuert lernen können und sie davon ausgehen, dass sich ihr Lernerfolg verbessert.

Tab. 34: Befragung digitale Medien - Stichprobe 1 und Stichprobe 2

Ergebnisse der Befragung	IGS	Gymnasium
Ich würde gerne häufiger digitale Medien beim Lernen verwenden.	77%	80%
Das Lernen mit digitalen Medien ermöglicht mir ein aktives selbstgesteuertes Lernen.	70%	71%
Mein Lernerfolg verbessert sich durch das Lernen mit ort- und zeitunabhängigen Medien.	63%	60%

Die Aussagen der Lernenden zeigen, dass der gestalteten digitalen Lernumgebung ein Potenzial in Bezug auf die Lernwirksamkeit zugesprochen wird.

Diese Annahmen werden bestätigt durch den Vergleich der Lerngruppen nach dem TCI-Posttest. Die Experimentalgruppen beider Stichproben zeigen deutlich weniger Streuung im Lernerfolg als die Kontrollgruppen.

Diese Ergebnisse zeigen aber auch, dass es bei Studien zum Lernen mit digitalen Medien nicht ausreicht, wenn nur die Lernleistung analysiert wird. Wenn sich keine oder schwache Lerneffekte zeigen, könnte es daran liegen, dass die Lernenden nicht über genügend Vorwissen, über geeignete Lernstrategien, individuelle Lernvoraussetzungen,

benutzerfreundliche gestaltete Lernmaterialien und Medienkenntnisse verfügen. Da Lernen ein komplexer Prozess ist, sollten diese Aspekte, da sie sich wechselseitig bedingen, in weiteren Zyklen von DBR-Studien detaillierter untersucht werden.

Um individuelle Probleme aufzudecken, sollten Lehrende aus den gewonnenen Daten Lernerprofile erstellen, die aus den Aspekten Vorwissen, individuelle Lernvoraussetzungen, Lernstrategien, Lernstil, Interesse am Fach und der Schulnote im Fach bestehen.

Der Nutzen dieser Arbeit ist, dass gezeigt werden konnte, dass es möglich ist, eine integrierte Lernumgebung zu gestalten, die nicht nur die Problemlösefähigkeiten der Lernenden fördert, sondern die auch lernstilorientiert und entsprechend den Lernvoraussetzungen so angepasst werden kann, dass die Lernenden in ihrem individuellen Lernprozess unterstützt werden können. Es konnte gezeigt werden, wie bedeutsam die motivierende Gestaltung der Unterrichtsmaterialien für das Autonomieerleben ist. So wird die Voraussetzung geschaffen, dass die Lernenden ihre Fähigkeiten weiterentwickeln und sie davon überzeugt sind, selbständig handeln zu können, um letztendlich lebenslang zu lernen.

Literaturverzeichnis

- Aeppli, J. (2005). *Selbstgesteuertes Lernen von Studierenden in einem Blended-Learning-Arrangement. Lernstil-Typen, Lernerfolg und Nutzung von webbasierten Lerneinheiten*, Dissertation Universität Zürich
- Arnold, P. (2005). *Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht*. <http://bit.ly/2OQd7TI> (Abrufdatum: 15.02.19)
- Ayres, P. (1993). *Why goal-free problems can facilitate learning*. Contemporary Educational Psychology Volume 18, S. 376-381
- Baddeley, A. D. (1992). *Working memory*. Science, Volumen 255, S. 556-559
- Baddeley, A. D. (1998). *Human memory. Theory and practice*. Boston, Allyn and Bacon Verlag
- Baumert, J. (2001). *Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als fächerübergreifende Kompetenz*, <http://bit.ly/2DmaG6h> (Abrufdatum: 26.08.19)
- Bildat, L. (2005). *Persönlichkeit und Neue Medien. Zur Vorhersage von Computer- und Internet-Literacy durch medienrelevante Personenvariablen*, <http://bit.ly/2OnZENE> (Abrufdatum: 10.10.2017)
- Bodemer, D., Plötzner, R., Bruchmüller, K., Häcker, S. (2005). *Supporting learning with interactive multimedia through active integration of representations*. Instructional Science, Volume 33, S. 73-95.
- Bortz, J. (2005). *Statistik*. S. 10, S. 22-302 6. Aufl., Springer Verlag.
- Bortz, J. & Döring, N (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. S. 533, 560, 4. Auflage, Springer Verlag.
- Bruner, J.S. (1961). *The act of discovery*, Harvard Educational Review, Volume 31, S. 21-32
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). *Cognitive Load Theory and the format of Instruction*. Cognition and Instruction, 8, S. 293-332, <http://bit.ly/2qG64oZ> (Abrufdatum: 15.10.2017)
- Craig, S. D., Gholson, B., & Driscoll, D. (2002). *Animated pedagogical agents in multimedia educational environments: Effects of agent properties, picture features, and redundancy*. Journal of Educational Psychology, Volume 94, S. 428-434, <http://bit.ly/2OrRudM> (Abrufdatum: 17.11.2017)
- De Westelinck, K.; Valcke, M.; de Craene, B.; Kirschner, P.A. (2005). *Computers in Human Behavior*, Volume 21, S. 555-574, <http://bit.ly/2QXmjIK> (Abrufdatum: 08.12.2017)
- Dahncke, H. (2006). *Lernen im Physikunterricht*, S. 83-112, 1. Aufl., Verlag Dr. Kovac
- Deci, E., & Ryan, R. (2002). *Handbook of self-determination research*. Rochester, NY, University of Rochester Press
- Dresel, M. & Lämmle, L. (2017). *Motivation*. In: T. Götz (Hrsg.). Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen (S. 109), Paderborn, Ferdinand Schöningh Verlag

- Einhaus, E. (2007). *Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre - Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.). *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Band 63, Berlin: Logos
- Erpenbeck, J. & Heyse, V. (1999). *Die Kompetenzbiografie. Strategien der Kompetenzentwicklung durch selbstorganisiertes Lernen und multimediale Kommunikation*. Munster: Waxmann., In Dissertation: Lehmann, R., 2010, *Lernstile als Grundlage adaptiver Lernsysteme in der Softschulung*, Seite 27
- Fetherston, T. (1998). *A socio-cognitive framework for researching learning with IMM*. Australian Journal of Educational Technology, 14, 98-106. In: G. D. Ray (Hrsg.). *Lernen mit Multimedia. Die Gestaltung interaktiver Animationen*, <http://bit.ly/2OtqRoN> (Abrufdatum: 15.11.2017)
- Friedrich, F. (2004). *Selbstgesteuertes Lernen - sechs Fragen, sechs Antworten*, Deutsches Institut für Fernstudienforschung an der Universität Tübingen, Kapitel 3 Abgerufen von <http://bit.ly/2p5Bgf4>, Abrufdatum: 12.12.2016
- Gama, C. A. (2005). *Integrating metacognition instruction in interactive learning environment*. In: Konrad, K. (Hrsg.). *Erfolgreich selbstgesteuert lernen. Theoretische Grundlagen, Forschungsergebnisse, Impulse für die Praxis*, S. 106-107, Klinkhardt Verlag
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). *Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive*, Zeitschrift für Pädagogik 41, S. 867-888 <http://bit.ly/2KZXVIX> (Abrufdatum: 19.03.19)
- Gijbels, D., Dochy, F., Van den Bossche, P., Segers, M. (2003). *Effects of Problem-Based Learning. A Meta-Analysis From the Angle of Assessment*, Volume 75, S. 27-61 <http://bit.ly/33rhOss> (Abrufdatum: 14.10.2017)
- Girwidz, R. & Hoyer, C. (2018). *Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien. Leitlinien zum Lehren mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen* In: Küchenmeister, J. M. (Hrsg.). *Naturwissenschaften digital*. 1. Aufl. S. 9f, Joachim Herz Stiftung Verlag, <https://bit.ly/2OPCAwL> (Abrufdatum: 26.06.2019)
- Girwidz, R., Gläser-Zikuda, M. (2006). *Lernen im Physikunterricht*, 1. Aufl., S. 101 ff., Hamburg, Dr. Kovac Verlag
- Gläser-Zikuda, M., Hascher, T. (2007). *Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen. Lerntagebuch und Portfolio in Bildungsforschung und Bildungspraxis*. 1. Auflage S. 27, Salzburg und Freiburg
- Götz, T. (2011). *Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen*. 2. Aufl., Seitenzahl S.144-168. Paderborn, UTB Verlag
- Goldberg, A., Russel, M. & Cook, A (2003). *The Effect of Computers on Student Writing. A Meta-Analysis of Studies from 1992 to 2002, Volume 2 (1)*, The Journal of Technology, Learning, and Assessment, <http://bit.ly/2R2DgBv> (Abrufdatum: 17.09.17)
- Goy, A. (2016). *Lesen und verstehen des Bildungsplans. Einführung in den Bildungsplan*. <http://bit.ly/2OWpsWv> (Abrufdatum: 28.03.2019)

- Haller, H.D & Nowack, I. (o. J.). *Lernstildiagnose, Pädagogisches Seminar Göttingen*. <http://bit.ly/1E72rbh> (Abrufdatum: 14.10.2016)
- Hamann, K. (2012). *Lerntypen, Lernstile, Lerntheorien*. 1. Aufl., S. 2, S. 11-16, S.47, Akademiker Verlag,
- Hatano, G. (1998). *Comprehension activity in individuals and groups*. In: M. Sabourin, F. Craik & M. Robert, (Ed.), *Advances in Psychological Science. Volume 2: Biological and cognitive aspects*, 399-418. Hove: Psychology Press/Erlbaum
- Haug, R. (2005). *Problemlösen lernen mit digitalen Medien. Förderung grundlegender Problemlösetechniken durch den Einsatz dynamischer Werkzeuge*. 1. Aufl., S. 14, S. 29, Wiesbaden, Vieweg Teubner Verlag
- Heckhausen, H. (1989): *Motivation und Handeln*. 2. Aufl., S. 192, Berlin, Springer Verlag
- Hede, A. (2002). *An integrated model of multimedia effects on learning*. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 11, S. 177-191
- Herzig, B. & Grafe, S. (2006). *Digitale Medien in der Schule. Standortbestimmung und Handlungsempfehlungen für die Zukunft*. 1. Aufl., Deutsche Telekom AG, <http://bit.ly/33ph6Mn> (Abrufdatum: 10.02.2018)
- Hilger, S. (2010). *Einführung in die Fachdidaktik Physik*. <http://bit.ly/2smFkKz> (Abrufdatum: 20.03.2019)
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. 1. Aufl., S. 7-9, Paderborn, Waxmann Verlag
- Höffler, T. (2007). *Lernen mit dynamischen Visualisierungen. Metaanalyse und experimentelle Untersuchungen zu einem naturwissenschaftlichen Lerninhalt, Lehrstuhl für Lehr-Lernpsychologie*. <http://bit.ly/2DpF6Vi> (Abrufdatum: 20.10.18)
- Holzkamp, K. (1993). *Lernen. Subjektwissenschaftliche Grundlegung*. Frankfurt a. M., Campus Verlag
- ISB (2019). *Lernbereich 2 Wärmelehre. Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung*. München <http://bit.ly/2OIC1f8> (Abrufdatum: 10.03.2018)
- Issing, L. J., & Klimsa, P. (1997). *Information und Lernen mit Multimedia*. 2. Aufl., Weinheim: Beltz Verlag
- de Jong, T. (2006). Computer simulations -Technological advances in inquiry learning. *Science, Volume 312*, S. 532-533
- Kauffeld, S. (2011). *Arbeits-, Organisation- und Personalpsychologie*. 1. Aufl., S. 124, Springer Verlag
- Kerres, M. (1998). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung*. München [u.a.]: Oldenburg Verlag
- Kerres, M. (2013). *Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote*. 4. Aufl., S. 128, München, Oldenburg Verlag

- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote*. 5. Aufl., S. 128, Berlin, Oldenburg Verlag
- Kircher, E., Girdwidz, R., Häußler, P. (2014). *Physikdidaktik, Theorie und Praxis*. 3. Aufl., S. 101 f. Springer Verlag
- Kirk, K. (2018). *Self-efficacy. Helping Students Believe in Themselves*. 2018/6, <http://bit.ly/2XRXzD4> (Abrufdatum: 10.10.2017)
- KMK (2005). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz*. <http://bit.ly/2XXn06z> (Abrufdatum: 03.02.2019)
- Kohler, B. & Wacker, AI (2013). *Das Angebots-Nutzungs-Modell. Überlegungen zu Chancen und Grenzen des derzeit prominentesten Wirkmodells der Schul- und Unterrichtsforschung*. S. 1-17, Waxmann Verlag <http://bit.ly/2L4wilt> (Abrufdatum: 12.09.17)
- Kohnen, M. (2012). *Design-Based Research: eine grundlegende Forschungsperspektive für die fachdidaktische Unterrichtsforschung in den Naturwissenschaften*. In: Gläser-Ziduka, M., Seidel, T., Rohlf, C., Gröschner, A./Ziegelbauer, S. (Hrsg.). *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung*
- Kolb, D. (1984). *Experimental Learning. Experience as The Source of Learning and Development, Case Western Reserve University*. <http://bit.ly/2L0BJYS> (Abrufdatum: 10.01.2018)
- Konrad, K. (2008). *Erfolgreiches selbstgesteuertes lernen. Theoretische Grundlagen, Forschungsergebnisse, Impulse für die Praxis*. 1. Aufl., Seitenzahl 102-148, Klinkhardt Verlag
- Krapp, A. (2002). *An educational-psychological theory of interest and its relation to SDT*. In: Deci E.L. & Ryan R.M. (Hrsg.), *Handbook of self-determination research*, S. 405-427, Rochester, NY: The University of Rochester Press
- Krapp, A. & Weidemann, B. (2006). *Pädagogische Psychologie*. 5. Aufl., S. 427, 616-619, Basel, Beltz Verlag
- Kugelmeyer, C. & Staraschek, E. (2014). *Charakterisierung der Textverständlichkeit mit Expertenrating. Das Hamburger Verständlichkeitskonzept*. In: Krüger D., Parchmann I, Schecker H. (Hrsg.). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. 1. Aufl., S. 250, Berlin, Springer Verlag
- Kuhl, J. (1983). *Motivation, Konflikt und Handlungskontrolle*. 1. Aufl., Berlin, Springer Verlag
- Kulik, C. C. & Kulik, J. A. (1991). *Effectiveness of computer-based instruction. An updated analysis*. *Computers in Human Behavior*, 7, S. 75-94, <http://bit.ly/34AriDr> (Abrufdatum: 17.05.2018)
- Labudde, P. (2013). *Fachdidaktik Naturwissenschaften*. 1.-9. Schuljahr 2. Aufl., S.160-161, Bern, UTB Verlag
- Leuders, T., & Volker U. (2007). *Viel Eckiges - forschend entdecken. Praxis der Mathematik in der Schule*. Volume 18. S. 1-9
- Lobinger, K. (2012). *Visuelle Kommunikationsforschung. Medienbilder als*

Herausforderungen für die Kommunikations- und Medienwissenschaft. S. 95-100, 1. Aufl., Springer Verlag

Lowyck, J. & Elen, J. (1991). Wandel in der theoretischen Fundierung des Instruktionsdesigns. *In Unterrichtswissenschaft* 19. S. 218-237

Ludwig, T. (2017). *Argumentieren beim Experimentieren in der Physik. Die Bedeutung personaler und situationaler Faktoren*. Dissertation, Berlin, Humboldt Universität <https://bit.ly/2XPIUZk> (Abrufdatum: 15.10.18)

Mandl, H. & Krause U. M. (2001). Lernkompetenz. *Forschungsberichte Uni München*. <http://bit.ly/2DnqRQE> (Abrufdatum: 23.11.17)

Manlove, S., Lazonder, A.W. & de Jong, T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition and Learning*, 2, 141-155.

Mayer, R. E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R. & Tapangco, L. (1996). *When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of textbook lessons*. *Journal of Educational Psychology*, 88, 64-73.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. S. 179, University Press, Cambridge

Mayer, R. E. (2014). *Cognitive Theory of Multimedia Learning*. In: R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. 2. Aufl., S. 43-71, Cambridge: Cambridge University Press.

Meyer, H. (2014). *Leitfaden Unterrichtsvorbereitung*. 9.Aufl., S.140, Cornelsen Verlag

Mispelbaum, E. (2008). *Mediendidaktische Aufbereitung naturwissenschaftlicher Inhalte. E-Learning im Chemieunterricht*. 1. Aufl., S.42-45, Hamburg, Diplomica Verlag

Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, Volume 101. S. 343-352, Neisser, <http://bit.ly/2OqYg3b>

Moulton, S. T. (2017). *Does a presentation's medium affect its message? PowerPoint, Prezi, and oral presentations*. <http://bit.ly/33qDoxa> (Abrufdatum: 20.03.18)

Müller, H., Mensel, H., Michely-Weirich, H., Neysters, G., Schlotmann, V. & Zumbrock, H. (2008). *Handreichung Selbstlernphasen in Bildungsgängen der Fachschule*. <http://bit.ly/2QPQWjr> (Abrufdatum 04.02.19)

Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. 1. Aufl., S. 15, S. 74-75, Springer Spektrum

Oberholz, H. W. (2013). *Dorn Bader Physik in einem Band*. Schroedel Verlag

Paivio, A. (1986). *Mental representations. A dual-coding approach*. New York: Oxford University Press.

Peterßen, W. H. (2000). *Handbuch Unterrichtsplanung. Grundfragen Modelle, Stufen, Dimension*. 9. Aufl., S. 377-382, München, Oldenburg Verlag

- Petko, D. (2014). *Einführung in die Mediendidaktik. Lehren und Lernen mit digitalen Medien*. 1. Aufl., S.14-60, Weinheim und Basel, Beltz Verlag
- Petko, D., Schmid, R., Pauli, C., Stebler, R. & Reusser, K. (2017). *Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien. Neue Potenziale zur Gestaltung schülerorientierter Lehr- und Lernumgebungen*. *Journal für Schulentwicklung*, 21(3). S. 31-39 <http://bit.ly/2pSm8TW> (Abrufdatum: 15.12.17)
- Prediger, S. & Link, M. (2012). *Die fachdidaktische Entwicklungsforschung - Ein Lernprozess-fokussierendes Forschungsprogramm mit Verschränkung fachdidaktischer Arbeitsbereiche*. In: Vorstand der Gesellschaft für Fachdidaktik (Hrsg.). *Formate Fachdidaktischer Forschung. Empirische Projekte - historische Analysen - theoretische Grundlegungen*. S. 29-46 Münster, Waxmann Verlag, <https://bit.ly/35JwB3x> (Abrufdatum: 04.02.17)
- Prenzel, M. (1988). *Die Wirkungsweise von Interesse. Ein pädagogisch-psychologisches Erklärungsmodell*. Opladen, Westdt. Verlag
- Prenzel, M. (2002). *Didaktisch optimierter Einsatz neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Konzeption, Evaluationsinstrumente und Unterrichtsmaterialien des SEMIK-Projekts*. 1. Aufl. S. 20-29, Kiel, IPN Verlag
- Prenzel, M., Sälzer, C., Klieme, E. & Köller, O. (2012). *PISA 2012. Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland*. Münster, Waxmann Verlag <http://bit.ly/2XUlyk4> (Abrufdatum: 01.04.2019)
- Raab-Steiner, E. & Benesch, M. (2012). *Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*. 3. Aufl., S. 149, Ulm, UTB Verlag
- Reigeluth, C. & Stein, F. S. (1983). *The elaboration theory of instruction*. In: C. Reigluth (Hrsg.), *Instructional de-sign theories and models: An overview of their current status*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Reinders, D. (2004). *Schülervorstellungen und Lernen von Physik*. <http://bit.ly/2OkX5Cm> (Abrufdatum: 04.02.19)
- Reinmann, G. (2005). *Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung*. *Unterrichtswissenschaft* 33/1, S. 52-69, <http://bit.ly/2DiNDt5> (Abrufdatum: 15.01.19)
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2003). *Structuring the Transition From Example Study to Problem Solving in Cognitive Skill Acquisition: A Cognitive Load Perspective*. *Educational Psychologist*, 38(1). S. 15-22, <http://bit.ly/2ruEgUx> (Abrufdatum: 25.01.18)
- Rey, G. D. (2009). *E-Learning. Theorie, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. 1. Auflage S. 77-79, Bern, Huber Verlag
- RLP (2014). *Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer, Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur*. <http://bit.ly/2y4RiWS> (Abrufdatum: 12.09.2016)
- Salle, A. (2015). *Selbstgesteuertes Lernen mit neuen Medien. Arbeitsverhalten und Argumentationsprozesse beim Lernen mit interaktiven und animierten Lösungsbeispielen*. 1. Aufl., S. 2, Springer Verlag

Schaumburg, H. & Issing L. J. (2004). *Entwicklung einer neuen Lernkultur durch den Einsatz von Laptops*. S. 107-134 In: Tully, C. J. (Hrsg.) *Verändertes Lernen in modernen technisierten Welten*. 1. Aufl., VS Verlag

Scheid, J. (2013). *Multiple Repräsentation, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung. Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*, Dissertation, Berlin, Logos Verlag

Schelle, A. (2009). *Mediales Lernen. Lernen mit neuen Medien*. 1. Aufl., S. 7, GRIN Verlag

Schneider, W. B. (2006). *Lernen von Begriffen der Thermodynamik am Beispiel der Wärme* S. 115-123. In: Girwidz, R., Gläser-Zikuda, M., Laukenmann, M. & Rubitzko, T. (Hrsg.). *Lernen im Physikunterricht*. 1. Aufl., Dr. Kovac Verlag

Schnotz, W. & Bannert, M. (2005). *An integrated model of text and picture comprehension*. In: Mayer, R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning*. S. 49-69. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Schnotz, W. (2005). *An integrated model of text and picture comprehension*. In R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. S. 49-70. New York: Cambridge University Press, <http://bit.ly/2Oymbhg> (Abrufdatum: 07.07.18)

Schnotz, W. (2009). *Pädagogische Psychologie*. 2. Aufl., S. 166 f, Weinheim, Beltz Verlag

Schulmeister, R. (1997). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik - Design*. 2. Aufl., München [u.a.]: Oldenbourg Verlag

Schulmeister, R. (2004). *Didaktisches Design aus hochschuldidaktischer Sicht - Ein Plädoyer für offene Lernsituationen*. In: Rinn, U. & Meister, D. M. (Hrsg.), *Didaktik und Neue Medien. Konzepte und Anwendungen in der Hochschule*. S. 19-49, Münster, Waxmann Verlag

Schulz-Zander, R. & Tulodziecki, G. (2002). *Multimedia und Internet - neue Aufgaben für Schule und Lehrerbildung*. In: Klimsa P. (Hrsg.). *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*. 3. Aufl., S. 317-319, Beltz Verlag

Schunk, D. H. & Zimmerman, B. J. (2013). *Self-regulation and learning*. In W. M. Reynolds, G. E. Miller & I. B. Weiner (Eds.), *Handbook of psychology* (2nd ed. Vol. 7: Educational psychology, pp. 45–68). Hoboken: Wiley.

Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2013). *Forschungsmethoden und Statistik. Ein Lehrbuch für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. 2. Aufl., S. 191, Pearson Verlag

Sedlmaier, P. & Wettle, M. (1998). *Was sollte ein Tutorsystem wissen. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*. 12, S. 219-235

Siebert, H. (2009). *Selbstgesteuertes Lernen und Lernberatung. Konstruktivistische Perspektive*. 3. Aufl., S.69-74, Augsburg, ZIEL Verlag

Simons, P. R. J. (1992). *Lernen selbstständig zu lernen - ein Rahmenmodell*. In: Mandl H. & Friedrich H. F. (Hrsg.). *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention*. S. 251-264, Göttingen, Hogrefe

Siripaiboon, S., (2016). *Die Generation der sozialen Medien. Chancen und Risiken für Jugendliche durch die Nutzung von sozialen Medien*. Bachelorarbeit, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften <http://bit.ly/34wPZAj> (Abrufdatum: 03.06.2017)

- Six, U., Gleich, U., Gimmler, R. (2007). *Kommunikationspsychologie und Medienpsychologie*. 1. Aufl., S. 374 Beltz Verlag
- Skehan, P. (1989). *Individual Differences in Second-Language Learning*. London: Edward Arnold.
- Skinner, B. F. (1968). *The technology of teaching, New York, Apple Century Crofts*. In: Issing, L., J. & Klimsa, P. (2002). *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Beruf*. 3. Aufl., S. 271, Beltz Verlag
- Spinath, B., Stiensmeier-Pelster, J., Schöne, C. & Dickhäuser, O. (2012). *Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation SELMO*. 2. Aufl., Göttingen, Hogrefe
- Spiro, R. J. & Jehng, J. C. (1990). *Cognitive flexibility, random access instruction, and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter*. In: Nix D. & Spiro R. J. (Hrsg.). *Cognition, education, and multimedia*. S. 163-205, Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1991). *Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext. Random access instruction for advanced knowledge acquisition in illstructures domains*. Educational Technology. 31 (5), S. 24-33
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1992a). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In: Duffy, T. M. & Jonassen, D. J. (Hrsg.), *Constructivism and the technology of instruction: A conversation*. S. 121-128. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Raab-Steiner, E., Bensch, M. (2012). *Der Fragebogen - von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*. facultas.wuv Universitätsverlag, S.111-153
- Sweller, J., & Chandler, P. (1991). *Evidence for cognitive load theory*. Cognition and Instruction. 8, S. 351-362. <http://bit.ly/2R2DgBv> (Abrufdatum: 10.09.18)
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G., Paas, F. (1998). *Cognitive Architecture and Instructional Design*. Educational Psychology Review, 10, S. 251-296.
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. Educational Psychology Review, 22(2), S. 123-138
- Sweller, J. & Ayres, P. L. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York et al. 2011
- Theyßen, H., Schecker, H., Neumann, K., Eickhorst, B. & Dickmann, M. (2016b). *Messung experimenteller Kompetenz - ein computergestützter Experimentiertest*. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 15 (1)
- Tulodziecki, G. & Herzig, B. (2004). *Handbuch Medienpädagogik, Band 2: Mediendidaktik*. Stuttgart, Klett-Cotta Verlag
- Tulodziecki, G. (2004). *Digitale Medien in Unterricht und Schule. Medienpädagogische Grundlagen und Beispiele, Vortrag in Soest* <http://bit.ly/35FgELK> (Abrufdatum: 18.08.18)
- Tulodziecki, G. Herzig, B., Graf, S. (2010). *Medienbildung in Schule und Unterricht. Grundlagen und Beispiele*. 1. Aufl., S. 96-97, UTB Verlag

Van Merriënboer, J. J. G. & Krammer, H. P. M. (1987). *Instructional strategies and tactics for the design of introductory computer programming courses in high school*. *Instructional Science*, 16, S. 251-285

Van Merriënboer, J. J. G. & Krammer, H. P. M. (1990). *The „completion strategy“ in programming instruction: Theoretical and empirical support*. In: Dijkstra S. (Hrsg.). *Research on Instruction*, S. 45-61, Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications

Wahl, D. (2013). *Lernumgebungen erfolgreich gestalten. Vom trägen Handeln zum kompetenten Handeln*. 3. Aufl., S. 35, Regensburg, Klinkhardt Verlag

Weinert, F. E. (1982). *Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts*. *Unterrichtswissenschaft*, 2, S. 99-110.

Weinert, F. E. (2001). *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit*. In: F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen*. S. 17-31., Weinheim und Basel, Beltz Verlag

Wilhelm, T. (2014). *Design-Forschung*. In: Krüger D., Parchmann I, Schecker H. (Hrsg.). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*, 1. Aufl., S. 32f., Berlin, Springer Verlag

Wirth J., Künsting, J., Leutner, D. (2009). *The impact of goal specificity and goal type on learning outcome and cognitive load*. *Computers in Human Behavior*, Volume 25, S. 299-305

Zumbach, J. (2010). *Lernen mit neuen Medien. Instruktionspsychologische Grundlagen*, 1. Aufl., S. 25, Stuttgart, Kohlhammer Verlag

Anhang

Anhang A - Statistische Auswertung - Stichprobe 1 (IGS)

Tab. 1: Statistische Auswertung - Test: Fachwissen „Wärmelehre“ - Stichprobe 1

	Analog-Digital	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen	Analog	11	11,09	122,00
Analog-Digital	Digital	12	12,83	154,00
Test:	Gesamt	23		
Fachwissen				
„Wärmelehre“				
Statistik für Test ^a				
			Fragen Analog-Digital	
			Test: Fachwissen	
			„Wärmelehre“	
Mann-Whitney-U			56,000	
Wilcoxon-W			122,000	
Z			-,664	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)			,507	
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]			,566 ^b	

a. Gruppenvariable: Analog-Digital

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tab. 2: Statistische Auswertung - TCI-Pretest Stichprobe 1

	Analog-Digital	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen	Analog	11	11,73	129,00
Analog-Digital	Digital	12	12,25	147,00
TCI-Pretest	Gesamt	23		
Statistik für Test ^a				
			Fragen Analog-Digital TCI-	
			Posttest	
Mann-Whitney-U			63,000	
Wilcoxon-W			129,000	
Z			-,187	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)			,852	
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]			,880 ^b	

a. Gruppenvariable: Analog-Digital

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tab. 3: Statistische Auswertung - TCI-Posttest - Stichprobe 1

	Analog-Digital	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen Analog-Digital	Analog	11	11,41	125,50
TCI-Posttest	Digital	12	12,54	150,50
	Gesamt	23		
Statistik für Test ^a				
			Fragen Analog-Digital TCI-Posttest	
Mann-Whitney-U			59,500	
Wilcoxon-W			125,500	
Z			-,404	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)			,686	
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]			,695 ^b	

a. Gruppenvariable: Analog-Digital

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tab. 4: Statistische Auswertung - TCI-Posttest-TCI-Pretest - Stichprobe 1

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen Analog-Digital TCI-Posttest - Fragen Analog-Digital TCI-Pretest	Negative Ränge	11 ^a	12,68	139,50
	Positive Ränge	10 ^b	9,15	91,50
	Bindungen	2 ^c		
	Gesamt	23		

a. Fragen Analog-Digital TCI-Posttest < Fragen Analog-Digital TCI-Pretest

b. Fragen Analog-Digital TCI-Posttest > Fragen Analog-Digital TCI-Pretest

c. Fragen Analog-Digital TCI-Posttest = Fragen Analog-Digital TCI-Pretest

Statistik für Test^a

	Fragen Analog-Digital TCI-Posttest - Fragen Analog-Digital TCI-Pretest
Z	-,850 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,395

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf negativen Rängen.

Tab. 5: Statistische Auswertung - Test: Fachwissen „Wärmelehre“ -Geschlechtsspezifisch - Stichprobe 1

Ränge	Gruppierung	N	Mittlerer Rang
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	digital_männlich	7	15,71
	digital_weiblich	5	8,80
	analog_männlich	5	13,60
	analog_weiblich	6	9,00
	Gesamt	23	

Statistik für Test^{a,b}

	Test: Fachwissen „Wärmelehre“
Kruskal-Wallis H	5,432
df	3
Asymptotische Signifikanz	,143

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppierung

Tab. 6: Statistische Auswertung - TCI-Pretest - Geschlechtsspezifisch - Stichprobe 1

Ränge	Gruppierung	N	Mittlerer Rang
TCI-Pretest	digital_männlich	7	13,86
	digital_weiblich	5	10,00
	analog_männlich	5	10,50
	analog_weiblich	6	12,75
	Gesamt	23	

Statistik für Test^{a,b}

	TCI-Pretest
Kruskal-Wallis H	1,313
df	3
Asymptotische Signifikanz	,726

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppierung

Tab. 7: Statistische Auswertung - TCI-Posttest - Geschlechtsspezifisch - Stichprobe 1

Ränge	Gruppierung	N	Mittlerer Rang
TCI-Posttest	digital_männlich	7	13,86
	digital_weiblich	5	10,70
	analog_männlich	5	8,10
	analog_weiblich	6	14,17
Gesamt		23	

Statistik für Test^{a,b}

	TCI-Posttest
Kruskal-Wallis H	3,034
df	3
Asymptotische Signifikanz	,386

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppierung

Tab. 8: Statistische Auswertung - Grad der Selbststeuerung - Stichprobe 1

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Veränderung G. d. Selbststeuerung	Negative Ränge	4 ^a	6,63	26,50
	Positive Ränge	12 ^b	9,13	109,50
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	Bindungen	7 ^c		
Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest	Gesamt	23		

a. Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest < Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“

b. Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest > Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“

c. Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest = Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“

Statistik für Test^a

	Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“- Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest
Z	-2,194 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,028

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf negativen Rängen.

Tab. 9: Statistische Auswertung - Test: Fachwissen „Wärmelehre“-TCI-Pretest-TCI-Posttest - Stichprobe 1

	Mittlerer Rang
Fragen Analog-Digital Test: Fachwissen „Wärmelehre“	1,04
Fragen Analog-Digital TCI-Pretest	2,48
Fragen Analog-Digital TCI-Posttest	2,48

Statistik für Test^a

N	23
Chi-Quadrat	32,267
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Friedman-Test

Tab. 10: Statistische Auswertung - Korrelationen bivariater Zusammenhänge - Stichprobe 1

		Median 1	Median 2	Median 3	Median 4	Mittelwert Leistungstest
Median 1 - Lernumgebung	Korrelation nach Pearson	1	-,066	,463*	,780**	,057
	Signifikanz (2-seitig)		,766	,026	,000	,795
	N	23	23	23	23	23
Median 2 - Selbstregulation	Korrelation nach Pearson	-,066	1	,332	,228	,088
	Signifikanz (2-seitig)	,766		,122	,296	,689
	N	23	23	23	23	23
Median 3 - Motivation	Korrelation nach Pearson	,463*	,332	1	,625**	,146
	Signifikanz (2-seitig)	,026	,122		,001	,505
	N	23	23	23	23	23
Median 4 - Grad der Selbststeuerung	Korrelation nach Pearson	,780**	,228	,625**	1	-,074
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,396	,001		,738
	N	23	23	23	23	23
Mittelwert Leistungstest	Korrelation nach Pearson	,057	,088	,146	-,074	1
	Signifikanz (2-seitig)	,795	,689	,505	,738	
	N	23	23	23	23	23

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 11: Korrelationen - Stichprobe 1

Selbst- wirksamkeit	Korrelationskoeffizient	1,000	,114	,116	,348	,154
	Signifikanz (2-seitig)	.	,606	,597	,104	,483
	N	23	23	23	23	23
Ausdauer	Korrelationskoeffizient	,114	1,000	,320	,483*	,376
	Signifikanz (2-seitig)	,606	.	,137	,020	,077
	N	23	23	23	23	23
Umgang mit Fehlern	Korrelationskoeffizient	,116	,320	1,000	,403	,252
	Signifikanz (2-seitig)	,597	,137	.	,056	,247
	N	23	23	23	23	23
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	,348	,483*	,403	1,000	,601**
	Signifikanz (2-seitig)	,104	,020	,056	.	,002
	N	23	23	23	23	23
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,154	,376	,252	,601**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,483	,077	,247	,002	.
	N	23	23	23	23	23

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

Tab. 12: Experimentalgruppe - individuellen Lernvoraussetzungen - Stichprobe 1

Spearman-Rho		Sicherheit_	Planung	Eigeninitiative	Lernmotivation	Selbstwirksamkeit	Lernerfolg_
		dM					Post
Sicherheit_ digitale Medien [dM]	Korrelationskoeffizient	1,000	,474	,474	,350	,427	-,187
	Sig. (2-seitig)	.	,119	,120	,265	,166	,560
	N	12	12	12	12	12	12
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	,474	1,000	,797**	,512	,375	-,155
	Sig. (2-seitig)	,119	.	,002	,089	,230	,630
	N	12	12	12	12	12	12
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,474	,797**	1,000	,349	,097	,167
	Sig. (2-seitig)	,120	,002	.	,266	,763	,603
	N	12	12	12	12	12	12
Lernmotivation	Korrelationskoeffizient	,350	,512	,349	1,000	,215	-,551
	Sig. (2-seitig)	,265	,089	,266	.	,501	,063
	N	12	12	12	12	12	12
Selbstwirksamkeit	Korrelationskoeffizient	,427	,375	,097	,215	1,000	-,307
	Sig. (2-seitig)	,166	,230	,753	,501	.	,332
	N	12	12	12	12	12	12
Lernerfolg_Post	Korrelationskoeffizient	,187	-,155	,167	-,551	-,307	1,000
	Sig. (2-seitig)	,580	,630	,603	,063	,332	.
	N	12	12	12	12	12	12

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 13: Kontrollgruppe - individuellen Lernvoraussetzungen - Stichprobe 1

Spearman-Rho		Sicherheit_	Planung	Eigeninitiative	Lernmotivation	Selbstwirksamkeit	Lernerfolg_
		dM					Post
Sicherheit_ digitale Medien [dM]	Korrelationskoeffizient	1,000	-,067	-,148	,566	,569	,300
	Sig. (2-seitig)	.	,844	,665	,070	,068	,370
	N	11	11	11	11	11	11
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	-,067	1,000	,475	-,507	,124	,599
	Sig. (2-seitig)	,844	.	,140	,112	,716	,052
	N	11	11	11	11	11	11
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	-,148	,475	1,000	-,129	,069	,310
	Sig. (2-seitig)	,665	,140	.	,706	,840	,354
	N	11	11	11	11	11	11
Lernmotivation	Korrelationskoeffizient	,566	-,507	-,129	1,000	,140	,021
	Sig. (2-seitig)	,070	,112	,706	.	,682	,952
	N	11	11	11	11	11	11
Selbstwirksamkeit	Korrelationskoeffizient	,569	,124	,069	,140	1,000	,407
	Sig. (2-seitig)	,069	,716	,840	,682	.	,214
	N	11	11	11	11	11	11
Lernerfolg_Post	Korrelationskoeffizient	,300	,599	,310	,021	,407	1,000
	Sig. (2-seitig)	,370	,052	,354	,952	,214	.
	N	11	11	11	11	11	11

Tab. 14: Experimentalgruppe - Stichprobe 1 (Selbstregulation)

Spearman-Rho		Planvolle Handeln	Eigeninitiative	Lernzielkontrolle	UmgangFehler	Ausdauer	Lernerfolg-TCI Pretest
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	1,000	,797**	,280	,517	-,080	-,155
	Sig. (2-seitig)	.	,002	,379	,085	,804	,630
	N	12	12	12	12	12	12
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,797**	1,000	,041	,412	-,101	,167
	Sig. (2-seitig)	,002	.	,900	,184	,754	,603
	N	12	12	12	12	12	12
Lernzielkontrolle	Korrelationskoeffizient	,280	,041	1,000	-,050	-,680*	-,135
	Sig. (2-seitig)	,379	,900	.	,877	,015	,675
	N	12	12	12	12	12	12
UmgangFehler	Korrelationskoeffizient	,517	,412	-,050	1,000	,080	,100
	Sig. (2-seitig)	,085	,184	,877	.	,806	,757
	N	12	12	12	12	12	12
Ausdauer	Korrelationskoeffizient	-,080	-,101	-,680*	,080	1,000	,208
	Sig. (2-seitig)	,804	,754	,015	,806	.	,516
	N	12	12	12	12	12	12
Lernerfolg-TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	-,155	,167	-,135	,100	,208	1,000
	Sig. (2-seitig)	,630	,603	,675	,757	,516	.
	N	12	12	12	12	12	12

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 15: Kontrollgruppe - Stichprobe 1 (Selbstregulation)

Spearman-Rho		Planvolle Handeln	Eigeninitiative	Lernzielkontrolle	UmgangFehler	Ausdauer	Lernerfolg-TCI-Pretest
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	1,000	,475	,366	,516	,785**	,599
	Sig. (2-seitig)	.	,140	,268	,105	,004	,052
	N	11	11	11	11	11	11
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,475	1,000	,123	,178	,648*	,310
	Sig. (2-seitig)	,140	.	,719	,601	,031	,354
	N	11	11	11	11	11	11
Lernzielkontrolle	Korrelationskoeffizient	,366	,123	1,000	-,061	,554	,402
	Sig. (2-seitig)	,268	,719	.	,858	,077	,220
	N	11	11	11	11	11	11
UmgangFehler	Korrelationskoeffizient	,516	,178	-,061	1,000	,419	,300
	Sig. (2-seitig)	,105	,601	,858	.	,199	,370
	N	11	11	11	11	11	11
Ausdauer	Korrelationskoeffizient	,785**	,648*	,554	,419	1,000	,650*
	Sig. (2-seitig)	,004	,031	,077	,199	.	,030
	N	11	11	11	11	11	11
Lernerfolg-TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	,599	,310	,402	,300	,650*	1,000
	Sig. (2-seitig)	,052	,354	,220	,370	,030	.
	N	11	11	11	11	11	11

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 15: Kontrollgruppe - Stichprobe 1 (Selbstregulation)

Spearman-Rho		Planvolle Handeln	Eigeninitiative	Lernzielkontrolle	UmgangFehler	Ausdauer	Lernerfolg-TCI-Pretest
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	1,000	,475	,366	,516	,785**	,599
	Sig. (2-seitig)	.	,140	,268	,105	,004	,052
	N	11	11	11	11	11	11
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,475	1,000	,123	,178	,648*	,310
	Sig. (2-seitig)	,140	.	,719	,601	,031	,354
	N	11	11	11	11	11	11
Lernzielkontrolle	Korrelationskoeffizient	,366	,123	1,000	-,061	,554	,402
	Sig. (2-seitig)	,268	,719	.	,858	,077	,220
	N	11	11	11	11	11	11
UmgangFehler	Korrelationskoeffizient	,516	,178	-,061	1,000	,419	,300
	Sig. (2-seitig)	,105	,601	,858	.	,199	,370
	N	11	11	11	11	11	11
Ausdauer	Korrelationskoeffizient	,785**	,648*	,554	,419	1,000	,650*
	Sig. (2-seitig)	,004	,031	,077	,199	.	,030
	N	11	11	11	11	11	11
Lernerfolg-TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	,599	,310	,402	,300	,650*	1,000
	Sig. (2-seitig)	,052	,354	,220	,370	,030	.
	N	11	11	11	11	11	11

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 16: Experimentalgruppe - Stichprobe 1 (Mediengestaltung)

Spearman-Rho		Lernerfolg TCI-Pretest	Lernerfolg TCI-Posttest	Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit
Lernerfolg TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	1,000	,662*	-,408	-,042
	Sig. (2-seitig)	.	,019	,188	,898
	N	12	12	12	12
Lernerfolg TCI-Posttest	Korrelationskoeffizient	,662*	1,000	-,668*	-,497
	Sig. (2-seitig)	,019	.	,018	,100
	N	12	12	12	12
Benutzerfreundlichkeit	Korrelationskoeffizient	-,408	-,688*	1,000	,409
	Sig. (2-seitig)	,188	,018	.	,187
	N	12	12	12	12
Nützlichkeit	Korrelationskoeffizient	-,042	-,497	,409	1,000
	Sig. (2-seitig)	,898	,100	,187	.
	N	12	12	12	12

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 17: Kontrollgruppe - Stichprobe 1 (Mediengestaltung)

Spearman-Rho		Lernerfolg-TCI-Pretest	Lernerfolg TCI-Posttest	Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit
Lernerfolg TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	1,000	,424	,275	,244
	Sig. (2-seitig)	.	,194	,414	,300
	N	11	11	11	11
Lernerfolg TCI-Posttest	Korrelationskoeffizient	,424	1,000	,404	,665*
	Sig. (2-seitig)	,194	.	,218	,025
	N	11	11	11	11
Benutzerfreundlichkeit	Korrelationskoeffizient	,275	,404	1,000	,801**
	Sig. (2-seitig)	,414	,218	.	,003
	N	11	11	11	11
Nützlichkeit	Korrelationskoeffizient	,344	,665*	,801**	1,000
	Sig. (2-seitig)	,300	,025	,003	.
	N	11	11	11	11

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Anhang B - Statistische Auswertung - Stichprobe 2 (Gymnasium)

Tab. 1: Statistische Auswertung - Test: Fachwissen „Wärmelehre“ - Stichprobe 2

	Analog-Digital	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen Analog-Digital Test:	Analog	23	19,67	452,50
	Digital	22	26,48	582,50
Fachwissen „Wärmelehre“	Gesamt	45		

Statistik für Test^a

	Fragen Analog-Digital Test: Fachwissen „Wärmelehre“
Mann-Whitney-U	176,500
Wilcoxon-W	452,500
Z	-1,868
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,062

a. Gruppenvariable: Analog-Digital

Tab. 2: Statistische Auswertung - TCI-Pretest Stichprobe 2

	Analog-Digital	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen Analog-Digital TCI-Pretest	Analog	23	20,54	472,50
	Digital	22	25,57	562,50
	Gesamt	45		

Statistik für Test^a

	Fragen Analog-Digital TCI-Posttest
Mann-Whitney-U	196,500
Wilcoxon-W	472,500
Z	-2,289
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,197
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]	,201

a. Gruppenvariable: Analog-Digital

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tab. 3: Statistische Auswertung - TCI-Posttest - Stichprobe 2

	Analog-Digital	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen Analog-Digital TCI-Posttest	Analog	23	20,65	475,00
	Digital	22	25,45	560,00
	Gesamt	45		

Statistik für Test^a

	Fragen Analog-Digital TCI-Posttest
Mann-Whitney-U	199,000
Wilcoxon-W	475,000
Z	-1,248
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,212
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]	,217

a. Gruppenvariable: Analog-Digital

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tab. 4: Statistische Auswertung - TCI-Posttest-TCI-Pretest - Stichprobe 2

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Fragen Analog-Digital Verzögerungstest - Fragen Analog-Digital Posttest	Negative Ränge	27 ^a	18,30	494,00
	Positive Ränge	12 ^b	23,83	286,00
	Bindungen	6 ^c		
	Gesamt	45		

a. Fragen Analog-Digital Verzögerungstest < Fragen Analog-Digital Posttest

b. Fragen Analog-Digital Verzögerungstest > Fragen Analog-Digital Posttest

c. Fragen Analog-Digital Verzögerungstest = Fragen Analog-Digital Posttest

Statistik für Test^a

	Fragen Analog-Digital Pretest Verzögerungstest - Fragen Analog-Digital Posttest
Z	-1,460 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,144

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf positiven Rängen.

Tab. 5: Statistische Auswertung - Test: Fachwissen „Wärmelehre“ -Geschlechtsspezifisch - Stichprobe 2

Ränge	Gruppierung	N	Mittlerer Rang
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	digital_männlich	10	27,00
	digital_weiblich	12	26,83
	analog_männlich	14	17,29
	analog_weiblich	9	22,33
	Gesamt	45	

Statistik für Test^{a,b}

	Test: Fachwissen „Wärmelehre“
Kruskal-Wallis H	5,355
df	3
Asymptotische Signifikanz	,148

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppierung

Tab. 6: Statistische Auswertung - TCI-Pretest - Geschlechtsspezifisch - Stichprobe 2

Ränge	Gruppierung	N	Mittlerer Rang
TCI-Pretest	digital_männlich	10	26,40
	digital_weiblich	12	24,88
	analog_männlich	14	20,46
	analog_weiblich	9	20,67
	Gesamt	45	

Statistik für Test^{a,b}

	TCI-Pretest
Kruskal-Wallis H	1,737
df	3
Asymptotische Signifikanz	,629

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppierung

Tab. 7: Statistische Auswertung - TCI-Posttest - Geschlechtsspezifisch - Stichprobe 2

Ränge	Gruppierung	N	Mittlerer Rang
TCI-Posttest	digital_männlich	10	23,50
	digital_weiblich	12	27,63
	analog_männlich	14	17,57
	analog_weiblich	9	24,72
	Gesamt	45	

Statistik für Test^{a,b}

	TCI-Posttest
Kruskal-Wallis H	4,186
df	3
Asymptotische Signifikanz	,242

a. Kruskal-Wallis-Test

b. Gruppenvariable: Gruppierung

Tab. 8: Statistische Auswertung - Grad der Selbststeuerung - Stichprobe 2

		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Veränderung G. d. Selbststeuerung	Negative Ränge	4 ^a	10,75	43,00
	Positive Ränge	29 ^b	17,86	518,00
Test: Fachwissen „Wärmelehre“	Bindungen	12 ^c		
	Gesamt	45		

a. Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest < Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“

b. Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest > Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“

c. Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest = Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“

Statistik für Test^a

	Veränderung G. d. Selbststeuerung Test: Fachwissen „Wärmelehre“ - Veränderung G. d. Selbststeuerung TCI-Posttest
Z	-4,323 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf negativen Rängen.

Tab. 9: Statistische Auswertung - Test: Fachwissen „Wärmelehre“-TCI-Pretest-TCI-Posttest - Stichprobe 2

	Mittlerer Rang
Fragen Analog-Digital Test: Fachwissen „Wärmelehre“	1,00
Fragen Analog-Digital TCI-Pretest	2,67
Fragen Analog-Digital TCI-Posttest	2,33

Statistik für Test^a

N	45
Chi-Quadrat	72,414
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Friedman-Test

Tab. 10: Statistische Auswertung - Korrelationen bivariater Zusammenhänge - Stichprobe 2

		Median 1	Median 2	Median 3	Median 4	Mittelwert Leistungstest
Median 1 - Lernumgebung	Korrelation	1,000	-,183	,307*	,170	,448**
	nach Pearson Signifikanz (2-seitig)		,229	,040	,264	,002
	N	45	45	45	45	45
Median 2 - Selbststeuerung	Korrelation	-,183	1,000	,059	,064	,068
	nach Pearson Signifikanz (2-seitig)	,229		,699	,679	,657
	N	45	45	45	45	45
Median 3 - Motivation	Korrelation	,307*	,059	1,000	,167	,240
	nach Pearson Signifikanz (2-seitig)	,040	,699		,274	,112
	N	45	45	45	45	45
Median 4 - Grad der Selbststeuerung	Korrelation	,170	,064	,167	1,000	-,164
	nach Pearson Signifikanz (2-seitig)	,264	,679	,274		,282
	N	45	45	45	45	45
Mittelwert Leistungstest	Korrelation	,448**	,068	,240	-,164	1,000
	nach Pearson Signifikanz (2-seitig)	,002	,657	,112	,282	
	N	45	45	45	45	45

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 11: Korrelationen - Stichprobe 2

Selbst- wirksamkeit (SWK)	Korrelationskoeffizient	1,000	,368*	-,137	-,045	,117
	Signifikanz (2-seitig)	.	,013	,369	,768	,446
	N	45	45	45	45	45
Ausdauer (AD)	Korrelationskoeffizient	,368*	1,000	-,048	-,063	-,070
	Signifikanz (2-seitig)	,013	.	,755	,680	,646
	N	45	45	45	45	45
Umgang mit Fehlern (UMF)	Korrelationskoeffizient	-,137	-,048	1,000	,357*	,234
	Signifikanz (2-seitig)	,369	,755	.	,016	,122
	N	45	45	45	45	45
Planvolles Handeln (PH)	Korrelationskoeffizient	-,045	,063	,357*	1,000	,445**
	Signifikanz (2-seitig)	,768	,680	,016	.	,002
	N	45	45	45	45	45
Eigeninitiative (EI)	Korrelationskoeffizient	,117	-,070	,234	,455**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,446	,646	,122	0,002	.
	N	45	45	45	45	45

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 12: Experimentalgruppe - individuellen Lernvoraussetzungen - Stichprobe 2

Spearman-Rho		Sicherheit_ dM	Planung	Eigeninitiative	Lernmotivation	Selbstwirksamkeit	Lernerfolg_ Post
Sicherheit_ digitale Medien [dM]	Korrelationskoeffizient	1,000	-,076	-,305	,090	-,053	,189
	Sig. (2-seitig)	.	,737	,167	,689	,815	,400
	N	22	22	22	22	22	22
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	-,076	1,000	,525*	-,269	-,064	,056
	Sig. (2-seitig)	,737	.	,012	,226	,777	,803
	N	22	22	22	22	22	22
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	-,305	,525*	1,000	-,123	,179	,039
	Sig. (2-seitig)	,167	,012	.	,584	,426	,864
	N	22	22	22	22	22	22
Lernmotivation	Korrelationskoeffizient	,090	-,269	-,123	1,000	,609**	,031
	Sig. (2-seitig)	,689	,226	,584	.	,003	,891
	N	22	22	22	22	22	22
Selbstwirksamkeit	Korrelationskoeffizient	-,053	-,064	,179	,609**	1,000	,125
	Sig. (2-seitig)	,815	,777	,426	,003	.	,578
	N	22	22	22	22	22	22
Lernerfolg-Post	Korrelationskoeffizient	,189	,056	,039	,031	,125	1,000
	Sig. (2-seitig)	,400	,803	,864	,891	,578	.
	N	22	22	22	22	22	22

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 13: Kontrollgruppe - individuellen Lernvoraussetzungen - Stichprobe 2

Spearman-Rho		Sicherheit_ dM	Planung	Eigeninitiative	Lernmotivation	Selbstwirksamkeit	Lernerfolg_ Post
Sicherheit_ digitale Medien [dM]	Korrelationskoeffizient	1,000	,010	-,328	,363	,369	,167
	Sig. (2-seitig)	.	,965	,126	,088	,083	,447
	N	23	23	23	23	23	23
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	,010	1,000	,339	-,100	-,094	,170
	Sig. (2-seitig)	,965	.	,113	,651	,669	,438
	N	23	23	23	23	23	23
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	-,328	,339	1,000	-,403	,031	,341
	Sig. (2-seitig)	,126	,113	.	,057	,888	,111
	N	23	23	23	23	23	23
Lernmotivation	Korrelationskoeffizient	,365	-,100	-,403	1,000	,456*	,180
	Sig. (2-seitig)	0,88	,651	,057	.	,029	,411
	N	23	23	23	23	23	23
Selbstwirksamkeit	Korrelationskoeffizient	,369	-,094	,031	,456*	1,000	,422*
	Sig. (2-seitig)	,083	,669	,888	,029	.	,045
	N	23	23	23	23	23	23
Lernerfolg-Post	Korrelationskoeffizient	,167	,170	,341	,180	,422*	1,000
	Sig. (2-seitig)	,447	,438	,111	,411	,045	.
	N	23	23	23	23	23	23

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 14: Experimentalgruppe - Stichprobe 2 (Selbstregulation)

Spearman-Rho		Planvolle Handeln	Eigeninitiative	Lernzielkontrolle	UmgangFehler	Ausdauer	Lernerfolg TCI-Pretest
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	1,000	,525*	,482*	,580**	-,016	,056
	Sig. (2-seitig)	.	,012	,023	,005	,942	,803
	N	22	22	22	22	22	22
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,525*	1,000	,293	,512*	,215	,039
	Sig. (2-seitig)	,012	.	,186	,015	,336	,864
	N	22	22	22	22	22	22
Lernzielkontrolle	Korrelationskoeffizient	,482*	,293	1,000	,411	-,022	-,018
	Sig. (2-seitig)	,023	,186	.	,057	,924	,937
	N	22	22	22	22	22	22
UmgangFehler	Korrelationskoeffizient	,580**	,512*	,411	1,000	,229	,418
	Sig. (2-seitig)	,005	,015	,057	.	,304	,053
	N	22	22	22	22	22	22
Ausdauer	Korrelationskoeffizient	-,016	,215	-,022	,229	1,000	,042
	Sig. (2-seitig)	,942	,336	,924	,304	.	,853
	N	22	22	22	22	22	22
Lernerfolg TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	,056	,039	-,018	,418	,042	1,000
	Sig. (2-seitig)	,803	,864	,937	,053	,853	.
	N	22	22	22	22	22	22

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 15: Kontrollgruppe - Stichprobe 2 (Selbstregulation)

Spearman-Rho		Planvolle Handeln	Eigeninitiative	Lernzielkontrolle	UmgangFehler	Ausdauer	Lernerfolg TCI-Pretest
Planvolles Handeln	Korrelationskoeffizient	1,000	,339	-,221	,105	-,040	,170
	Sig. (2-seitig)	.	,113	,310	,634	,856	,438
	N	23	23	23	23	23	23
Eigeninitiative	Korrelationskoeffizient	,339	1.000	-,039	-,239	-,349	,341
	Sig. (2-seitig)	,113	.	,859	,272	,102	,111
	N	23	23	23	23	23	23
Lernzielkontrolle	Korrelationskoeffizient	-,221	-,039	1,000	,287	,065	-,448*
	Sig. (2-seitig)	,310	,859	.	,184	,769	,032
	N	23	23	23	23	23	23
UmgangFehler	Korrelationskoeffizient	,105	-,239	,287	1,000	,063	-,298
	Sig. (2-seitig)	,634	,272	,184	.	,775	,168
	N	23	23	23	23	23	23
Ausdauer	Korrelationskoeffizient	-,040	-,349	,065	,063	1,000	-,167
	Sig. (2-seitig)	,856	,102	,769	,775	.	,447
	N	23	23	23	23	23	23
Lernerfolg TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	,170	,341	-,448*	-,298	-,167	1,000
	Sig. (2-seitig)	,438	,111	,032	,168	,447	.
	N	23	23	23	23	23	23

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 16: Experimentalgruppe - Stichprobe 2 (Mediengestaltung)

Spearman-Rho		Lernerfolg TCI-Pretest	Lernerfolg TCI-Posttest	Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit
Lernerfolg TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	1,000	,616**	,525*	,275
	Sig. (2-seitig)	.	,002	,012	,215
	N	22	22	22	22
Lernerfolg TCI-Posttest	Korrelationskoeffizient	,616**	1,000	,440*	,209
	Sig. (2-seitig)	,002	.	,040	,349
	N	22	22	22	22
Benutzerfreundlichkeit	Korrelationskoeffizient	,525*	,440*	1,000	,072
	Sig. (2-seitig)	,012	,040	.	,749
	N	22	22	22	22
Nützlichkeit	Korrelationskoeffizient	,275	,209	,072	1,000
	Sig. (2-seitig)	,215	,349	,749	.
	N	22	22	22	22

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

**Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig)

Tab. 17: Kontrollgruppe - Stichprobe 2 (Mediengestaltung)

Spearman-Rho		Lernerfolg TCI-Pretest	Lernerfolg TCI-Posttest	Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit
Lernerfolg TCI-Pretest	Korrelationskoeffizient	1,000	,115	,087	-,102
	Sig. (2-seitig)	.	,600	,693	,643
	N	23	23	23	23
Lernerfolg TCI-Posttest	Korrelationskoeffizient	,115	1,000	,184	,144
	Sig. (2-seitig)	,600	.	,401	,511
	N	23	23	23	23
Benutzerfreundlichkeit	Korrelationskoeffizient	-,087	,184	1,000	-,412
	Sig. (2-seitig)	,693	,401	.	,051
	N	23	23	23	23
Nützlichkeit	Korrelationskoeffizient	-,102	,144	-,412	1,000
	Sig. (2-seitig)	,643	,511	,051	.
	N	23	23	23	23

Anhang C - Auswertung Fragebögen Excel

Tab. 1. Auswertungstabellen - Excel - Analog Medien 1 - Deidesheim

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 1					
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative
A1	01MANJ	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	01EECF	weiblich	Divergierer - Assimilierer	3,5	3,0	4,0	3,0	3,0	2,5
A3	00JETS	männlich	Konvergierer	1,0	1,0	2,0	1,5	3,5	3,0
A4	01MMRR	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	01SESA	weiblich	Assimilierer	1,5	3,0	2,0	2,0	3,0	3,0
A6	99NENM	weiblich	Assimilierer	2,0	1,5	2,0	1,0	1,0	1,5
A7	01SESK	männlich	Akkomodierer	2,0	1,5	2,0	1,0	3,0	1,0
A8	01UASM	weiblich	Konvergierer	1,0	3,0	3,0	3,0	3,5	2,0
A9	99MAOB	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	01AARR	männlich	Konvergierer	1,0	1,0	2,0	1,0	4,0	4,0
A11	01MNSA	weiblich	Akkomodierer	2,0	1,5	2,5	1,5	1,5	2,5
A12	99EASD	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	01BEFD	männlich	Assimilierer	2,0	2,5	2,5	1,5	2,5	2,0
A14	01JAHD	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	01BTDS	weiblich	Akkomodierer	2,0	2,0	2,0	3,0	3,5	2,0
A16	00VNAD	männlich	Akkomodierer - Divergierer	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0	2,0
A17	00CEPR	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 2: Auswertungstabellen - Excel - Analog Medien 2 - Deidesheim

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 2					
				Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit	Ausdauer	Grad der Selbststeuerung	Umgang mit Fehlern	Lernzielkontrolle
A1	01MANJ	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	01EECF	weiblich	Divergierer - Assimilierer	3,5	4,0	4,0	3,5	2,0	2,5
A3	00JETS	männlich	Konvergierer	2,0	1,0	3,0	2,0	2,5	2,0
A4	01MMRR	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	01SESA	weiblich	Assimilierer	3,5	3,0	3,0	2,5	1,5	2,5
A6	99NENM	weiblich	Assimilierer	2,5	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
A7	01SESK	männlich	Akkomodierer	2,0	1,5	2,5	1,0	2,5	2,0
A8	01UASM	weiblich	Konvergierer	4,0	3,0	3,0	3,5	3,0	2,5
A9	99MAOB	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	01AARR	männlich	Konvergierer	2,5	1,0	4,0	3,0	3,0	2,0
A11	01MNSA	weiblich	Akkomodierer	2,5	1,5	2,5	2,5	3,0	2,0
A12	99EASD	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	01BEFD	männlich	Assimilierer	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0
A14	01JAHD	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	01BTDS	weiblich	Akkomodierer	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5
A16	00VNAD	männlich	Akkomodierer - Divergierer	3,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
A17	00CEPR	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 3: Auswertungstabellen - Excel - Analog - Medien - Deidesheim

Nr.	Code	1	2	3	Median1	4	5	6	Median2	7	8	9	10	Median3	11	12	Median4
A1	01MANJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	01EECF	3,0	3,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	3,5	4,0	4,0	3,75	3,0	3,5	3,25
A3	00JETS	1,0	2,0	1,0	1,0	3,5	3,0	2,0	3,0	2,5	1,0	2,0	3,0	2,25	1,5	2,0	1,75
A4	01MMRR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	01SESA	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0	1,5	2,5	2,0	3,0	2,25	2,0	2,5	2,25
A6	99NENM	1,5	2,5	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,50
A7	01SESK	1,5	2,0	1,5	1,5	3,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,5	2,3	1,0	1,0	1,00
A8	01UASM	3,0	4,0	3,0	3,0	3,5	2,0	2,5	2,0	3,0	1,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,25
A9	99MAOB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	01AARR	1,0	2,5	1,0	1,0	4,0	4,0	2,0	4,0	3,0	1,0	2,0	4,0	2,5	1,0	3,0	2,00
A11	01MNSA	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,0	2,0	3,0	2,0	2,5	2,5	2,5	1,5	2,5	2,00
A12	99EASD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	01BEFD	2,5	2,0	1,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,5	1,0	1,5	1,5	2,0	1,75
A14	01JAHD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	01BTDS	2,0	3,0	3,0	3,0	3,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	3,0	2,3	3,0	3,0	3,00
A16	00VNAD	1,5	3,0	1,5	1,5	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	2,0	1,50
A17	00CEPR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1,5	2,5	1,5		3,0	2,0	2,0		2,5	2,0	2,0	3,0		1,5	2,5	

Median 1: Aspekte der Lernumgebung; Median 2: Aspekte der Selbstregulation (Lernstrategien); Median 3: Aspekte der Motivation/Selbstwirksamkeit; Median 4: Aspekt Grad der erlebten Selbststeuerung; Skalendokumentation: 1=Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien; 2=Benutzerfreundlichkeit; 3=Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel; 4=Planvolles Handeln; 5=Eigeninitiative; 6=Lernzielkontrolle; 7=Umgang mit Fehlern; 8=Lernmotivation; 9=Selbstwirksamkeit; 10=Ausdauer; 11=Grad der erlebten Selbststeuerung (Test: Fachwissen „Wärmelehre“); 12=Grad der erlebten Selbststeuerung (TCI-Posttest)

Tab. 4: Auswertungstabellen - Excel - Analog Medien 1 - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 1						
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative	Verbesserung der Leistung
A1	01CADM	weiblich	Konvergierer	2,5	2,0	2,5	1,0	3,0	2,0	3,0
A2	01SESR	weiblich	Konvergierer	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	3,0
A3	01SNTN	männlich	Konvergierer	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	1,0
A4	00JHSN	männlich	Konvergierer	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
A5	00PAPN	weiblich	Assimilierer	2,5	2,5	3,0	1,5	2,0	2,0	3,0
A6	00SECH	männlich	Mischtyp Divergierer/Assimilierer	2,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,0	1,0
A7	01HIML	männlich	Assimilierer	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,5	2,0
A8	00SETS	männlich	Konvergierer	3,0	1,5	3,0	1,5	1,0	2,0	3,0
A9	00BAWD	weiblich	Assimilierer	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0
A10	01SEAF	männlich	Konvergierer	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0
A11	00ANMS	weiblich	Assimilierer	2,0	2,5	2,0	1,0	1,5	1,5	1,0
A12	00AAME	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	01JAKI	männlich	Konvergierer	2,0	2,0	2,5	1,5	1,5	2,0	1,0
A14	01SEGG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	01AARF	weiblich	Assimilierer	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0
A16	01HERF	männlich	Konvergierer	1,5	1,0	2,0	1,5	3,0	3,0	2,0
A17	01MEJG	weiblich	Assimilierer	2,0	1,0	2,0	1,5	3,0	2,0	2,0

Tab. 5: Auswertungstabellen - Excel - Analog Medien 1 - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 1						
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative	Verbesserung der Leistung
A18	00DEM	männlich	Mischtyp Divergierer/Assimilierer	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0
A19	01CAM	männlich	Divergierer	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	2,5	2,0
A20	01DRN	männlich	Mischtyp Akkomodierer/Konvergierer	1,5	2,0	3,0	2,5	2,0	2,5	3,0
A21	00RTF	männlich	Assimilierer	2,0	1,5	2,0	1,0	1,0	1,5	2,0
A22	01SEM	männlich	Akkomodierer	2,0	2,5	2,5	2,0	3,0	2,0	2,0
A23	01LARE	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A24	01TAAS	weiblich	Akkomodierer	2,5	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0
A25	00DEM	weiblich	Assimilierer	1,5	2,5	2,0	1,0	2,0	1,5	2,0
A26	00HED	männlich	Assimilierer	1,5	1,0	2,0	1,0	2,5	3,0	2,0
A27	00AESC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A28	00CARR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A29	99YZLP	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 6: Auswertungstabellen - Excel - Analog Medien 2 - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 2							Verbesserung der Leistung
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative		
A1	01CADM	weiblich	Konvergierer	2,5	2,0	2,5	1,0	3,0	2,0	3,0	
A2	01SESR	weiblich	Konvergierer	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	3,0	
A3	01SNTN	männlich	Konvergierer	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	1,0	
A4	00JHSN	männlich	Konvergierer	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
A5	00PAPN	weiblich	Assimilierer	2,5	2,5	3,0	1,5	2,0	2,0	3,0	
A6	00SECH	männlich	Mischtyp Divergierer/Assimilierer	2,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,0	1,0	
A7	01HIML	männlich	Assimilierer	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,5	2,0	
A8	00SETS	männlich	Konvergierer	3,0	1,5	3,0	1,5	1,0	2,0	3,0	
A9	00BAWD	weiblich	Assimilierer	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0	
A10	01SEAF	männlich	Konvergierer	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	
A11	00ANMS	weiblich	Assimilierer	2,0	2,5	2,0	1,0	1,5	1,5	1,0	
A12	00AAME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A13	01JAKI	männlich	Konvergierer	2,0	2,0	2,5	1,5	1,5	2,0	1,0	
A14	01SEGG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A15	01AARF	weiblich	Assimilierer	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	
A16	01HERF	männlich	Konvergierer	1,5	1,0	2,0	1,5	3,0	3,0	2,0	
A17	01MEJG	weiblich	Assimilierer	2,0	1,0	2,0	1,5	3,0	2,0	2,0	

Tab. 7: Auswertungstabellen - Excel - Analog Medien 2 - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 2							Verbesserung der Leistung
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative		
A18	00DEMN	männlich	Mischtyp Divergierer/Assimilierer	3,0	1,0	2,0	2,5	2,0	2,5	2,5	
A19	01CAMJ	männlich	Divergierer	2,0	1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	
A20	01DRNJ	männlich	Mischtyp Akkomodierer/Konvergierer	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	
A21	00RTFK	männlich	Assimilierer	2,0	1,5	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	
A22	01SEMJ	männlich	Akkomodierer	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	1,5	1,5	
A23	01LARE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A24	01TAAS	weiblich	Akkomodierer	2,0	3,0	3,0	2,0	2,5	2,0	2,0	
A25	00DEMN	weiblich	Assimilierer	2,5	3,0	2,5	2,0	3,0	3,0	3,0	
A26	00HEDR	männlich	Assimilierer	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	
A27	00AESC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A28	00CARR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A29	99YZLP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tab. 8: Auswertungstabellen - Excel - Analog - Medien - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	1	2	3	Median1	4	5	6	Median2	7	8	9	10	Median3	11	12	Median4
A1	01CADM	2,0	3,5	2,0	2,0	3,0	2,0	1,5	2,0	1,5	2,5	2,5	3,5	2,5	1,0	3,0	2,0
A2	01SESR	2,0	3,0	2,5	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,5
A3	01SNTN	1,0	3,5	1,0	1,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	1,0	1,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,5
A4	00JHSN	2,0	2,5	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
A5	00PAPN	2,5	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,5	3,0	4,0	2,8	1,5	2,0	1,75
A6	00SECH	2,0	2,5	2,5	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,25	2,0	2,0	2
A7	01HIML	1,0	2,0	2,5	2,0	1,0	1,5	3,5	1,5	3,5	2,0	2,0	3,0	2,5	1,0	2,5	1,75
A8	00SETS	1,5	4,0	1,5	1,5	1,0	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	3,0	3,0	3,0	1,5	4,0	2,75
A9	00BAWD	1,5	2,5	2,5	1,5	1,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,0	2,0	2,5	2,3	2,0	2,0	2,0
A10	01SEAF	1,0	4,0	1,0	1,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,5	1,0	2,0	1,0	1,5	2,0	3,0	2,5
A11	00ANMS	2,5	2,0	3,0	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	1,5
A12	00AAME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	01JAKI	2,0	4,0	1,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,3	1,5	3,5	2,5
A14	01SEGG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	01AARF	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	1,0	2,0	1,5
A16	01HERF	1,0	2,0	1,0	1,0	3,0	3,0	2,0	3,0	2,5	1,5	2,0	1,5	1,75	1,5	1,5	1,5
A17	01MEJG	1,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0

Median 1: Aspekte der Lernumgebung; Median 2: Aspekte der Selbstregulation (Lernstrategien); Median 3: Aspekte der Motivation/Selbstwirksamkeit; Median 4: Aspekt Grad der erlebten Selbststeuerung; Skalendokumentation: 1=Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien; 2=Benutzerfreundlichkeit; 3=Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel; 4=Planvolles Handeln; 5=Eigeninitiative; 6=Lernzielkontrolle; 7=Umgang mit Fehlern; 8=Lernmotivation; 9=Selbstwirksamkeit; 10=Ausdauer; 11=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 1); 12=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 4)

Tab. 9: Auswertungstabellen - Excel - Analog - Medien - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	1	2	3	Median1	4	5	6	Median2	7	8	9	10	Median3	11	12	Median4
A18	00DEMNI	1,0	3,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	2,5	2,0
A19	01CAMJ	2,0	2,0	1,5	2,0	1,5	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	2,0	2,0	1,75	2,0	2,5	2,25
A20	01DRNJ	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	1,5	3,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,25
A21	00RTFK	1,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5
A22	01SEMJ	2,5	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0	2,25	2,0	2,0	2,0
A23	01LARE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A24	01TAAS	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0
A25	00DEMNI	2,5	2,5	3,0	2,5	2,0	1,5	3,0	1,5	3,0	1,5	2,0	2,5	2,25	1,0	2,0	1,5
A26	00HEDR	1,0	3,0	2,0	2,0	2,5	3,0	2,5	2,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,5
A27	00AESC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A28	00CARR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A29	99YZLP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2,00	2,50	1,50		2,00	2,00	2,00		2,50	2,00	2,00	2,00		1,50	2,00	

Median 1: Aspekte der Lernumgebung; Median 2: Aspekte der Selbstregulation (Lernstrategien); Median 3: Aspekte der Motivation/Selbstwirksamkeit; Median 4: Aspekt Grad der erlebten Selbststeuerung; Skalendokumentation: 1=Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien; 2=Benutzerfreundlichkeit; 3=Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel; 4=Planvolles Handeln; 5=Eigeninitiative; 6=Lernzielkontrolle; 7=Umgang mit Fehlern; 8=Lernmotivation; 9=Selbstwirksamkeit; 10=Ausdauer; 11=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 1); 12=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 4)

Tab. 10: Auswertungstabellen - Excel - Lernerfolg - Analog - Deidesheim

Nr.	Code	Geschlecht	Test: Fachwissen		
			„Wärmelehre“	TCI-Pretest	TCI-Posttest
A1	01MANJ	-	-	-	-
A2	01EECF	weiblich	2	11	10
A3	00JETS	männlich	2	8	9
A4	01 MMRR	-	-	-	-
A5	01SESA	weiblich	2	11	10
A6	99NENM	weiblich	2	8	9
A7	01SSESK	männlich	3	11	11
A8	01UASM	weiblich	1	11	12
A9	99MAOB	-	-	-	-
A10	01AARR	männlich	2	12	8
A11	01MNSA	weiblich	3	10	9
A12	99EASD	-	-	-	-
A13	01BEFD	männlich	3	10	8
A14	01JAHD	-	-	-	-
A15	01BTDS	weiblich	1	10	11
A16	00VNAO	männlich	2	1	4
A17	00CEPR	-	-	-	-
Median			2	10	9

Tab. 11: Auswertungstabellen - Excel - Lernerfolg - Analog - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Test: Fachwissen	TCI-	TCI-Posttest	Interesse
			„Wärmelehre“	Pretest		
A1	01CADM	weiblich	3	12	12	trifft eher nicht zu 3
A2	01SESR	weiblich	2	13	12	trifft nicht zu 4
A3	01SNTN	männlich	1	6	6	trifft eher zu 2
A4	00JHSN	männlich	2	12	4	trifft zu 1
A5	00PAPN	weiblich	3	11	10	trifft eher nicht zu 3
A6	00SECH	männlich	2	8	6	trifft nicht zu 4
A7	01HIML	männlich	2	7	10	trifft zu 1
A8	00SETS	männlich	2	11	9	trifft eher zu 2
A9	00BAWD	weiblich	3	6	5	trifft nicht zu 4
A10	01SEAF	männlich	2	7	10	trifft eher zu 2
A11	00ANMS	weiblich	3	9	9	trifft eher nicht zu 3
A12	00AAME	-	-	-	-	-
A13	01JAKI	männlich	2	9	9	trifft eher nicht zu 3
A14	01SEGG	-	-	-	-	-
A15	01AARF	weiblich	1	5	10	trifft nicht zu 4
A16	01HERF	männlich	2	13	8	trifft eher zu 2
A17	01MEJG	weiblich	1	12	10	trifft eher nicht zu 3

Tab. 12: Auswertungstabellen - Excel - Lernerfolg - Analog - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	Geschlecht	Test: Fachwissen		TCI-Posttest	Interesse
			„Wärmelehre“	TCI-Pretest		
A18	00DEMN	männlich	2	7	9	trifft eher nicht zu 3
A19	01CAMJ	männlich	1	11	2	trifft zu 1
A20	01DRNJ	männlich	1	12	9	trifft zu 1
A21	00RTFK	männlich	3	11	9	trifft zu 1
A22	01SEMJ	männlich	2	10	9	trifft eher nicht zu 3
A23	01LARE	-	-	-	-	-
A24	01TAAS	weiblich	2	9	9	trifft eher nicht zu 3
A25	00DEMN	weiblich	1	8	8	trifft nicht zu 4
A26	00HEDR	männlich	2	9	14	trifft eher zu 2
A27	00AESC	-	-	-	-	-
A28	00CARR	-	-	-	-	-
A29	99YZLP	-	-	-	-	-
Median			2	9	9	

Tab. 13: Auswertungstabellen - Excel - Analog - Lernstil - Deidesheim

Nr.	Geschlecht	Code	Summe KE	Summe RB	Summe AB	Summe AE	AE-RB	AB-KE	Lernstil	Lernprozess
A1	-	01MANJ	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	weiblich	01EECF	29	30	28	26	-4	-1	Divergierer - Assimilierer	Reflektiertes Beobachten
A3	männlich	00JETS	25	20	27	32	12	2	Konvergierer	Aktives Experimentieren
A4	-	01MMRR	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	weiblich	01SESA	31	28	34	18	-10	3	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung
A6	weiblich	99NENM	26	33	33	19	-14	7	Assimilierer	Reflektiertes Beobachten
A7	männlich	01SESK	27	29	25	35	6	-2	Akkomodierer	Aktives Experimentieren
A8	weiblich	01UASM	29	27	30	32	5	1	Konvergierer	Aktives Experimentieren
A9	-	99MAOB	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	männlich	01AARR	31	27	33	29	2	2	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
A11	weiblich	01MNSA	29	24	22	32	8	-7	Akkomodierer	Aktives Experimentieren
A12	-	99EASD	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	männlich	01BEFD	25	31	29	30	-1	4	Assimilierer	Reflektiertes Beobachten
A14	-	01JAHD	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	weiblich	01BTDS	31	25	29	29	4	-2	Akkomodierer	Konkrete Erfahrung
A16	männlich	00VNAD	23	21	20	21	0	-3	Akkomodierer - Divergierer	Konkrete Erfahrung
A17	-	00CEPR	-	-	-	-	-	-	-	-

KE = konkrete Erfahrung, RB = reflektierte Beobachtung, AB = abstrakte Begriffsbildung und AE = aktives Experimentieren

Tab. 14: Auswertungstabellen - Excel - Analog - Lernstil - Neustadt Teil 1

Nr.	Geschlecht	Code	Summe KE	Summe RB	Summe AB	Summe AE	AE-RB	AB-KE	Lernstil	Lernprozess
A1	weiblich	01CADM	24	23	27	36	13	3	Konvergierer	Aktives Experimentieren
A2	weiblich	01SESR	30	27	31	28	1	1	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
A3	männlich	01SNTN	28	28	31	34	6	3	Konvergierer	Aktives Experimentieren
A4	männlich	00JHSN	26	28	31	35	7	5	Konvergierer	Aktives Experimentieren
A5	weiblich	00PAPN	26	33	30	27	-6	4	Assimilierer Mischtyp Divergierer/Assimilier er	Reflektierendes Beobachten
A6	männlich	00SECH	29	28	29	25	-3	0		Konkrete Erfahrung
A7	männlich	01HIML	22	31	36	30	-1	14	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung
A8	männlich	00SETS	27	27	35	34	7	8	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
A9	weiblich	00BAWD	24	31	36	25	-6	12	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung
A10	männlich	01SEAF	28	26	30	27	1	2	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung Reflektierendes Beobachten
A11	weiblich	00ANMS	21	26	24	24	-2	3	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten
A12	-	00AAME	-	-	-	-	-	-	-	-
A13	männlich	01JAKI	27	32	28	38	6	1	Konvergierer	Aktives Experimentieren
A14	-	01SEGG	-	-	-	-	-	-	-	-
A15	weiblich	01AARF	25	33	29	31	-2	4	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten
A16	männlich	01HERF	26	25	28	32	7	2	Konvergierer	Aktives Experimentieren Reflektierendes Beobachten
A17	weiblich	01MEJG	21	30	25	17	-13	4	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten

KE = konkrete Erfahrung, RB = reflektierte Beobachtung, AB = abstrakte Begriffsbildung und AE = aktives Experimentieren

Tab. 15: Auswertungstabellen - Excel - Analog - Lernstil - Neustadt Teil 2

Nr.	Geschlecht	Code	Summe KE	Summe RB	Summe AB	Summe AE	AE-RB	AB-KE	Lernstil	Lernprozess
A18	männlich	00DEMN	27	31	27	29	-2	0	Mischtyp Divergierer/Assimilierer	Reflektierendes Beobachten
A19	männlich	01CAMJ	28	32	23	30	-2	-5	Divergierer	Reflektierendes Beobachten
A20	männlich	01DRNJ	26	28	26	31	3	0	Mischtyp Akkomodierer/Konvergierer	Aktives Experimentieren Reflektierendes Beobachten
A21	männlich	01RTFK	23	34	33	30	-4	10	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten
A22	männlich	01SEMJ	29	27	27	31	4	-2	Akkomodierer	Aktives Experimentieren
A23	-	01LARE	-	-	-	-	-	-	-	-
A24	weiblich	01TAAS	32	27	31	30	3	-1	Akkomodierer	Konkrete Erfahrung
A25	weiblich	00DEMN	27	28	33	26	-2	6	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung Abstrakte Begriffsbildung und Reflektierendes Beobachten
A26	männlich	00HEDR	29	32	32	28	-4	3	Assimilierer	Beobachten
A27	-	00AESC	-	-	-	-	-	-	-	-
A28	-	00CARR	-	-	-	-	-	-	-	-
A29	-	99YZLP	-	-	-	-	-	-	-	-

KE = konkrete Erfahrung, RB = reflektierte Beobachtung, AB = abstrakte Begriffsbildung und AE = aktives Experimentieren

Tab. 16: Auswertungstabellen - Excel - Digital Medien 1 - Deidesheim

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 1						Planvolles Handeln	Eigeninitiative
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung				
D1	00DRSM	weiblich	-	-	-	-	-	-	-	-	
D2	00KIYK	weiblich	Konvergierer	2,0	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0		
D3	00PALD	männlich	Konvergierer	1,5	2,5	2,0	1,5	2,0	2,0		
D4	00SEFI	weiblich	Akkomodierer	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0		
D5	00HEJS	männlich	-	-	-	-	-	-	-		
D6	00SEST	männlich	-	-	-	-	-	-	-		
D7	01SEMN	männlich	Akkomodierer	1,5	1,5	1,5	1,0	2,0	2,0		
D8	00BTGH	weiblich	Divergierer	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,5		
D9	00FACS	weiblich	Assimilierer	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0		
D10	01KNRP	männlich	Konvergierer	2,0	2,5	3,0	2,0	3,0	2,5		
D11	00AAJM	männlich	Akkomodierer	2,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,0		
D12	00SEDB	männlich	Konvergierer	2,0	1,0	2,0	1,5	1,0	1,5		
D13	01AARR	männlich	Assimilierer	3,5	4,0	3,0	2,5	4,0	2,5		
D14	27AARR	männlich	Divergierer	2,0	1,5	1,5	1,0	3,5	3,0		
D15	00CAAS	männlich	Akkomodierer	2,5	2,5	1,5	1,0	2,5	2,5		

Tab. 17: Auswertungstabellen - Excel - Digital Medien 2 - Deidesheim

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 2					
				Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit	Ausdauer	Grad der Selbststeuerung	Umgang mit Fehlern	Lernzielkontrolle
D1	00DRSM	weiblich	-	-	-	-	-	-	-
D2	00KIYK	weiblich	Konvergierer	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0	2,0
D3	00PALD	männlich	Konvergierer	1,5	2,0	2,5	1,0	2,0	2,0
D4	00SEFI	weiblich	Akkomodierer	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,0
D5	00HEJS	männlich	-	-	-	-	-	-	-
D6	00SEST	männlich	-	-	-	-	-	-	-
D7	01SEMN	männlich	Akkomodierer	1,0	1,5	2,0	1,0	2,5	2,0
D8	00BTGH	weiblich	Divergierer	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0
D9	00FACS	weiblich	Assimilierer	1,0	2,0	2,5	1,5	1,5	1,5
D10	01KNRP	männlich	Konvergierer	2,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0
D11	00AAJM	männlich	Akkomodierer	2,0	1,5	2,5	1,5	2,5	2,0
D12	00SEDB	männlich	Konvergierer	2,0	2,5	2,5	1,5	2,5	1,5
D13	01AARR	männlich	Assimilierer	2,0	1,0	2,0	1,5	2,5	3,0
D14	27AARR	männlich	Divergierer	2,0	2,5	3,0	3,0	2,5	1,5
D15	00CAAS	männlich	Akkomodierer	1,0	1,0	2,0	1,0	2,5	1,5

Tab. 18: Auswertungstabellen - Excel - Digital - Medien - Deidesheim

Nr.	Code	1	2	3	Median1	4	5	6	Median2	7	8	9	10	Median 3	11	12	Median4
D1	00DRSM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2	00KIYK	2,0	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,25
D3	00PALD	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,3
D4	00SEFI	1,5	2,0	3,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,5	3,0	2,0	1,0	2,5	1,75
D5	00HEJS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D6	00SEST	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D7	01SEMN	1,5	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	1,5	1,5	2,0	1,8	1,0	1,0	1,0
D8	00BTGH	2,0	2,5	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,5	2,3	2,0	2,0	2,0
D9	00FACS	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,8
D10	01KNRP	2,5	2,0	3,0	2,0	3,0	2,5	1,0	2,5	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0
D11	00AAJM	1,0	2,0	1,5	1,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,5	2,3	2,0	1,5	1,8
D12	00SEDB	1,0	2,0	2,5	2,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,5	2,0	2,0	2,5	2,3	1,5	1,5	1,5
D13	01AARR	4,0	2,0	1,0	2,0	4,0	2,5	3,0	3,0	2,5	3,5	3,0	2,0	2,8	2,5	1,5	2,0
D14	27AARR	1,5	2,0	2,5	2,0	3,5	3,0	1,5	3,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,3	1,0	3,0	2,0
D15	00CAAS	2,5	1,0	1,0	1,0	2,5	2,5	1,5	2,5	2,5	2,5	1,5	2,0	2,3	1,0	1,0	1,0
		2,0	2,0	2,0		2,5	2,0	1,75		2,5	2,0	2,0	2,5		1,75	1,5	

Median 1: Aspekte der Lernumgebung; Median 2: Aspekte der Selbstregulation (Lernstrategien); Median 3: Aspekte der Motivation/Selbstwirksamkeit; Median 4: Aspekt Grad der erlebten Selbststeuerung; Skalendokumentation: 1=Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien; 2=Benutzerfreundlichkeit; 3=Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel; 4=Planvolles Handeln; 5=Eigeninitiative; 6=Lernzielkontrolle; 7=Umgang mit Fehlern; 8=Lernmotivation; 9=Selbstwirksamkeit; 10=Ausdauer; 11=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 1); 12=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 4)

Tab. 19: Auswertungstabellen - Excel - Digital Medien 1 - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 1						
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbststeuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative	Verbesserung der Leistung
D1	00BESR	männlich	Konvergierer	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0
D2	01AAPP	männlich	Akkomodierer	2,0	1,5	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0
D3	01CEAS	weiblich	Konvergierer	2,0	1,0	2,0	1,0	1,5	1,0	3,0
D4	01NEAD	weiblich	Konvergierer	1,5	3,0	2,0	2,0	1,0	1,5	2,0
D5	00SEPR	männlich	Assimilierer	2,0	1,0	2,5	1,0	3,0	2,5	2,0
D6	00DASO	männlich	Assimilierer	2,0	1,0	2,5	2,0	1,5	2,5	2,0
D7	00UEHT	männlich	Konvergierer	2,0	2,5	1,5	2,0	3,0	1,0	2,0
D8	01SEJM	weiblich	Assimilierer	3,0	2,0	3,0	2,0	2,5	2,0	4,0
D9	01MMJN	männlich	Akkomodierer	2,0	1,5	3,0	3,0	4,0	2,5	3,0
D10	01CATS	männlich	Konvergierer	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,5	3,0
D11	01AATM	weiblich	Assimilierer	3,0	2,5	3,0	2,0	1,5	1,5	3,0
D12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D13	01SELM	männlich	Assimilierer Mischtyp	2,5	1,0	3,0	2,0	2,0	1,0	3,0
D14	01SAIS	weiblich	Akkomodierer/Konvergierer	3,0	2,5	3,0	1,0	1,0	1,5	2,0
D15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D16	00MNRP	weiblich	Konvergierer	2,0	1,5	2,0	2,0	1,5	1,0	2,0
D17	01REMS	weiblich	Konvergierer	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,5	2,0

Tab. 20: Auswertungstabellen - Excel - Digital Medien 1 - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 1						
				Lernmotivation	Sicherheit	Selbstwirksamkeit	Selbst- steuerung	Planvolles Handeln	Eigeninitiative	Verbesserung der Leistung
D18	01SAZF	männlich	Konvergierer	2,5	1,5	2,0	1,0	2,5	2,0	2,0
D19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D20	00BTLA	männlich	Assimilierer	2,0	2,0	2,5	1,0	2,0	2,0	4,0
D21	01CALC	männlich	Akkomodierer Mischtyp	2,0	1,5	2,5	1,0	3,0	3,0	3,0
D22	01POTS	weiblich	Akkomodierer/Konvergierer	1,5	2,0	2,0	1,5	3,0	1,5	2,5
D23	00UTHZ	weiblich	Konvergierer Mischtyp	3,0	1,5	3,5	1,0	1,0	1,5	1,0
D24	02IEGR	weiblich	Akkomodierer/Divergierer	3,0	1,5	3,0	1,0	2,5	2,5	4,0
D25	01KNML	weiblich	Assimilierer	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0

Tab. 21: Auswertungstabellen - Excel - Digital Medien 2 - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 2					
				Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit	Ausdauer	Grad der Selbststeuerung	Umgang mit Fehlern	Lernzielkontrolle
D1	00BESR	männlich	Konvergierer	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
D2	01AAPP	männlich	Akkomodierer	2,0	3,0	3,5	4,0	3,0	4,0
D3	01CEAS	weiblich	Konvergierer	2,5	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0
D4	01NEAD	weiblich	Konvergierer	3,0	2,0	3,0	2,5	1,5	1,0
D5	00SEPR	männlich	Assimilierer	2,5	1,5	2,5	1,5	1,5	2,0
D6	00DASO	männlich	Assimilierer	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,0
D7	00UEHT	männlich	Konvergierer	2,5	1,0	3,0	2,0	1,5	1,5
D8	01SEJM	weiblich	Assimilierer	2,5	4,0	3,0	2,0	2,0	1,0
D9	01MMJN	männlich	Akkomodierer	3,0	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5
D10	01CATS	männlich	Konvergierer	2,5	3,0	3,5	3,0	2,0	1,5
D11	01AATM	weiblich	Assimilierer	3,0	4,0	4,0	3,0	2,5	1,5
D12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D13	01SELM	männlich	Assimilierer	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0
D14	01SAIS	weiblich	Mischtyp Akkomodierer/Konvergierer	3,0	4,0	4,0	4,0	1,5	2,0
D15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D16	00MNRP	weiblich	Konvergierer	3,0	2,0	3,0	2,0	1,5	1,0
D17	01REMS	weiblich	Konvergierer	3,0	3,0	3,0	1,5	2,5	2,5

Tab. 22: Auswertungstabellen - Excel - Digital Medien 2 - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Lernstil	Medien 2					
				Benutzerfreundlichkeit	Nützlichkeit	Ausdauer	Grad der Selbststeuerung	Umgang mit Fehlern	Lernzielkontrolle
D18	01SAZF	männlich	Konvergierer	3,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0
D19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D20	00BTLA	männlich	Assimilierer	2,0	1,5	2	2,0	1,0	2,0
D21	01CAL5	männlich	Akkomodierer Mischtyp	3,0	2,0	3,5	2,5	3,0	2,0
D22	01POTS	weiblich	Akkomodierer/Konvergierer	3,0	3,5	2,5	2,5	2,5	2,5
D23	00UTHZ	weiblich	Konvergierer Mischtyp	2,0	3,5	3,0	2,0	1,0	2,0
D24	02IEGR	weiblich	Akkomodierer/Divergierer	2,0	4,0	4,0	2,0	1,5	1,0
D25	01KNML	weiblich	Assimilierer	2,5	3,0	3,5	2,0	2,0	2,5

Tab. 23: Auswertungstabellen - Excel - Digital - Medien - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	1	2	3	Median1	4	5	6	Median2	7	8	9	10	Median3	11	12	Median4
D1	00BESR	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,25	2,0	3,0	2,5
D2	01AAPP	1,5	2,0	3,0	2,0	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	2,0	3,0	3,5	3,0	4,0	4,0	4,0
D3	01CEAS	1,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,5
D4	01NEAD	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	3,0	1,75	2,0	2,5	2,25
D5	00SEPR	1,0	2,5	1,5	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5	2,5	1,75	1,0	1,5	1,3
D6	00DASO	1,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,5	1,0	1,5	2,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
D7	00UEHT	2,5	2,5	1,0	2,5	3,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	1,5	3,0	1,75	2,0	2,0	2,0
D8	01SEJM	2,0	2,5	4,0	2,5	2,5	2,0	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0
D9	01MMJN	1,5	3,0	4,0	3,0	4,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	3,0	3,0	2,75	3,0	2,5	2,8
D10	01CATS	1,0	2,5	3,0	2,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	3,5	2,0	1,0	3,0	2,0
D11	01AATM	2,5	3,0	4,0	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	3,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	2,5
D12	00AESK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D13	01SELM	1,0	2,0	3,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	2,75	2,0	2,0	2,0
D14	01SAIS	2,5	3,0	4,0	3,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,5	3,0	3,0	4,0	3,0	1,0	4,0	2,5
D15	00PANJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D16	00MNRP	1,5	3,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0
D17	01REMS	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	3,0	2,25	2,0	1,5	1,75

Median 1: Aspekte der Lernumgebung; Median 2: Aspekte der Selbstregulation (Lernstrategien); Median 3: Aspekte der Motivation/Selbstwirksamkeit; Median 4: Aspekt Grad der erlebten Selbststeuerung; Skalendokumentation: 1=Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien; 2=Benutzerfreundlichkeit; 3=Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel; 4=Planvolles Handeln; 5=Eigeninitiative; 6=Lernzielkontrolle; 7=Umgang mit Fehlern; 8=Lernmotivation; 9=Selbstwirksamkeit; 10=Ausdauer; 11=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 1); 12=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 4)

Tab. 24: Auswertungstabellen - Excel - Digital - Medien - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	1	2	3	Median1	4	5	6	Median2	7	8	9	10	Median3	11	12	Median4
D18	01SAZF	1,5	3,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,25	1,0	2,0	1,75
D19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D20	00BTLA	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,5	2	2,0	1,0	2,0	1,5
D21	01CAL5	1,5	3,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,5	3,5	2,75	1,0	2,5	1,75
D22	01POTS	2,0	3,0	3,5	3,0	3,0	1,5	2,5	2,5	2,5	1,5	2,0	2,5	2,25	1,5	2,5	2
D23	00UTHZ	1,5	2,0	3,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,0	3,0	3,5	3,0	3,0	1,0	2,0	1,5
D24	02IEGR	1,5	2,0	4,0	2,0	2,5	2,5	1,0	2,5	1,5	3,0	3,0	4,0	3,0	1,0	2,0	1,5
D25	01KNML	1,0	2,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	3,5	2,0	2,0	2,0	2
		1,5	2,5	3,0		2,0	2,0	2,0		2,0	2,0	2,5	3,0		2,0	2,0	

Median 1: Aspekte der Lernumgebung; Median 2: Aspekte der Selbstregulation (Lernstrategien); Median 3: Aspekte der Motivation/Selbstwirksamkeit; Median 4: Aspekt Grad der erlebten Selbststeuerung; Skalendokumentation: 1=Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien; 2=Benutzerfreundlichkeit; 3=Nützlichkeit des Mediums als Arbeitsmittel; 4=Planvolles Handeln; 5=Eigeninitiative; 6=Lernzielkontrolle; 7=Umgang mit Fehlern; 8=Lernmotivation; 9=Selbstwirksamkeit; 10=Ausdauer; 11=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 1); 12=Grad der erlebten Selbststeuerung (Termin 4)

Tab. 25: Auswertungstabellen - Excel - Lernerfolg - Digital - Deidesheim

Nr.	Code	Geschlecht	Test: Fachwissen		
			„Wärmelehre“	TCI-Pretest	TCI-Posttest
D1	00DRSm	-	-	-	-
D2	00KIYK	weiblich	1	9	10
D3	00PALD	männlich	2	14	13
D4	00SEFI	weiblich	3	10	8
D5	00HEJS	-	-	-	-
D6	00SEST	-	-	-	-
D7	01SEMN	männlich	3	13	14
D8	00BTGH	weiblich	2	5	6
D9	00MACS	weiblich	1	9	9
D10	01KNRP	männlich	4	12	10
D11	00AAJm	männlich	2	14	11
D12	00SEDG	männlich	2	9	6
D13	01AARR	männlich	3	8	10
D14	27AARR	männlich	2	10	7
D15	00CASA	männlich	3	10	13
Median			2	10	10

Tab. 26: Auswertungstabellen - Excel - Lernerfolg - Digital - Neustadt Teil 1

Nr.	Code	Geschlecht	Test: Fachwissen			Interesse - Physik
			„Wärmelehre“	TCI-Pretest	TCI-Posttest	
D1	00BESR	männlich	3	5	9	trifft zu 1
D2	01AAPP	männlich	1	10	15	trifft zu 1
D3	01CEAS	weiblich	1	10	9	trifft nicht zu 4
D4	01NEAD	weiblich	3	9	10	trifft nicht zu 4
D5	00SEPR	männlich	3	11	9	trifft nicht zu 4
D6	00DASO	männlich	3	11	10	trifft zu 1
D7	00UEHT	männlich	2	8	9	trifft eher zu 2
D8	01SEJM	weiblich	3	14	12	trifft eher nicht zu 3
D9	01MMJN	männlich	2	13	8	trifft eher nicht zu 3
D10	01CATS	männlich	3	13	10	trifft zu 1
D11	01AATM	weiblich	3	15	12	trifft nicht zu 4
D12	00AESK	männlich				trifft eher zu 2
D13	01SELM	männlich	3	7	6	trifft eher zu 2
D14	01SAIS	weiblich	3	15	12	trifft eher nicht zu 3
D15	00PANJ	weiblich				trifft eher nicht zu 3
D16	00MNRP	weiblich	2	12	10	trifft eher zu 2
D17	01REMS	weiblich	3	10	13	trifft nicht zu 4

Tab. 27: Auswertungstabellen - Excel - Wissenstest - Digital - Neustadt Teil 2

Nr.	Code	Geschlecht	Test: Fachwissen			Interesse - Physik
			„Wärmelehre“	TCI-Pretest	TCI-Posttest	
D18	01SAZF	männlich	1	14	9	trifft zu 1
D19	01IALM	-	-	-	-	-
D20	00BTLA	männlich	2	9	7	trifft eher nicht zu 3
D21	01CAL5	männlich	3	14	11	trifft nicht zu 4
D22	01POTS	weiblich	2	14	13	trifft eher nicht zu 3
D23	00UTHZ	weiblich	2	8	7	trifft nicht zu 4
D24	02IEGR	weiblich	2	4	8	trifft nicht zu 4
D25	01KNML	weiblich	3	6	8	trifft nicht zu 4
Median			3	10,5	9,5	

Tab. 28: Auswertungstabellen - Excel - Digital - Lernstil - Deidesheim

Nr.	Geschlecht	Code	Summe				AE-RB	AB-KE	Lernstil	Lernprozess
			KE	RB	AB	AE				
D1	-	00DRSM	-	-	-	-	-	-	-	-
D2	weiblich	00KIYK	31	29	32	31	2	1	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
D3	männlich	00PALD	26	28	29	29	1	3	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung - Aktives Experimentieren
D4	weiblich	00SEFI	34	28	33	32	4	-1	Akkomodierer	Konkrete Erfahrung
D5	-	00HEJS	-	-	-	-	-	-	-	-
D6	-	00SEST	-	-	-	-	-	-	-	-
D7	männlich	01SEMN	28	28	30	33	5	2	Akkomodierer	Aktives Experimentieren
D8	weiblich	00BTGH	26	31	33	28	-3	7	Divergierer	Abstrakte Begriffsbildung
D9	weiblich	00FACS	27	33	29	31	-2	2	Assimilierer	Reflektiertes Beobachten
D10	männlich	01KNRP	26	29	29	32	3	3	Konvergierer	Aktives Experimentieren
D11	männlich	00AAJM	30	26	27	35	9	-3	Akkomodierer	Aktives Experimentieren
D12	männlich	00SEDB	26	30	35	33	3	9	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
D13	männlich	01AARR	26	25	30	15	-10	4	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung
D14	männlich	27AARR	24	24	19	15	-9	-5	Divergierer	Konkrete Erfahrung - Reflektiertes Beobachten
D15	männlich	00CAAS	27	24	28	27	3	1	Akkomodierer	Abstrakte Begriffsbildung

KE = konkrete Erfahrung, RB = reflektierte Beobachtung, AB = abstrakte Begriffsbildung und AE = aktives Experimentieren

Tab. 29: Auswertungstabellen - Excel - Digital - Lernstil - Neustadt Teil 1

Nr.	Geschlecht	Code	Summe KE	Summe RB	Summe AB	Summe AE	AE-RB	AB-KE	Lernstil	Lernprozess
D1	männlich	00BESR	24	27	30	35	8	6	Konvergierer	Aktives Experimentieren
D2	männlich	01AAPP	26	25	19	33	8	-7	Akkomodierer	Aktives Experimentieren
D3	weiblich	01CEAS	26	28	28	31	3	2	Konvergierer	Aktives Experimentieren
D4	weiblich	01NEAD	31	30	33	32	2	2	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
D5	männlich	00SEPR	25	33	32	25	-8	7	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten
D6	männlich	00DASO	26	33	34	27	-6	8	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung
D7	männlich	00UEHT	25	31	30	32	1	5	Konvergierer	Aktives Experimentieren
D8	weiblich	01SEJM	20	22	36	19	-3	16	Assimilierer	Abstrakte Begriffsbildung
D9	männlich	01MMJN	30	21	23	27	6	-7	Akkomodierer	Konkrete Erfahrung
D10	männlich	01CATS	27	23	29	36	13	2	Konvergierer	Aktives Experimentieren Reflektierendes Beobachten und Abstrakte Begriffsbildung
D11	weiblich	01AATM	26	29	29	24	-5	3	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten und Abstrakte Begriffsbildung
D12	-	00AESK	-	-	-	-	-	-	-	-
D13	männlich	01SELM	25	33	33	30	-3	8	Assimilierer Mischtyp	Reflektierendes Beobachten und Abstrakte Begriffsbildung
D14	weiblich	01SAIS	24	25	24	28	3	0	Akkomodierer/Konvergierer	Aktives Experimentieren
D15	-	00PAAJ	-	-	-	-	-	-	-	-
D16	weiblich	00MNRP	28	27	34	31	4	6	Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
D17	weiblich	01REMS	27	28	31	34	6	4	Konvergierer	Aktives Experimentieren

KE = konkrete Erfahrung, RB = reflektierte Beobachtung, AB = abstrakte Begriffsbildung und AE = aktives Experimentieren

Tab. 30: Auswertungstabellen - Excel - Digital - Lernstil - Neustadt Teil 2

Nr.	Geschlecht	Code	Summe KE	Summe RB	Summe AB	Summe AE	AE-RB	AB-KE	Lernstil	Lernprozess
D18	männlich	01SAZF	23	27	27	31	4	4	Konvergierer	Aktives Experimentieren
D19	-	01IALM	-	-	-	-	-	-	-	-
D20	männlich	00BTIA	26	33	28	31	-2	2	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten
D21	männlich	01CSLS	35	24	31	34	10	-4	Akkomodierer Mischtyp	Aktives Experimentieren
D22	weiblich	01POTS	18	24	28	24	0	10	Akkomodierer/Konvergierer	Abstrakte Begriffsbildung
D23	weiblich	00UTHZ	22	25	24	27	2	2	Konvergierer	Aktives Experimentieren
D24	weiblich	02IEGR	27	27	24	27	0	-3	Akkomodierer/Divergierer Mischtyp	Aktives Experimentieren, Konkrete Erfahrung und Reflektierendes Beobachten
D25	weiblich	01KNML	21	28	28	19	-9	7	Assimilierer	Reflektierendes Beobachten und Abstrakte Begriffsbildung

KE = konkrete Erfahrung, RB = reflektierte Beobachtung, AB = abstrakte Begriffsbildung und AE = aktives Experimentieren

Fragebogen - Lernstil

Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Abt. Physikdidaktik



UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU

Mit diesem Fragebogen möchten wir herausfinden, welcher Lernstil am besten zu Ihnen passt.

Dazu unterteilt sich der Fragebogen in vier Kategorien.

Jede Kategorie umfasst 10 Fragen. Die Auswertung des Fragebogens geschieht anonym, niemand erfährt, was Sie geantwortet haben.

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:

Ich stimme dieser Aussage...

1 = ...nicht zu.; 2 = ...kaum zu.; 3 = ...ziemlich zu.; 4 = ...voll zu.

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen, müssen Sie folgende Codierung ausfüllen:

Letzen beiden Zahlen des Geburtsjahrs:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	Geschlecht:
Der erste und letzte Buchstabe des Vornamens der Mutter:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> m
Der letzte und erste Buchstabe des Vornamens des Vaters:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> w

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Stefan Pietrusky

Universität Koblenz Landau Campus Landau,
Fortstr. 7, 76829 Landau

Kategorie A

Ich stimme dieser Aussage...

1 = ...nicht zu.; 2 = ...kaum zu.; 3 = ...ziemlich zu.; 4 = ...voll zu.

- | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich bevorzuge Lernsituationen, bei denen ich eine Sache oder Angelegenheit an konkreten Aufgaben oder typischen Beispielen selber sehen oder erkunden kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich halte es für wenig hilfreich, gleich verallgemeinernd zu denken und theoretisierend vorzugehen. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich frage mehr nach der Eigenart jeder Sache, jedes Ereignisses oder einer Person und weniger danach, was sie mit anderen gemeinsam haben. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich gewinne am meisten aus dem Erfahrungsaustausch, aus den Rückmeldungen und Diskussionen mit Gleichgesinnten/Mitstudenten. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Ich orientiere mich eher an Menschen, die in der gleichen Lage sind wie ich, und höre weniger auf sogenannte Experten. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Was Experten vorzutragen haben, erreicht mich oft nicht, geht an mir und meinen Interessen vorbei. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Ich lerne am besten durch persönliche Kontakte. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Ich lerne am besten, wenn ich mich auf mein Gefühl verlasse. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Ich lerne am besten, wenn es mich persönlich betrifft. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Ich lerne am besten, wenn meine Spontanität angesprochen ist. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Kategorie B

Ich stimme dieser Aussage...

1 = ...nicht zu.; 2 = ...kaum zu.; 3 = ...ziemlich zu.; 4 = ...voll zu.

- | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich ziehe Lernsituationen vor, die es zulassen, mich erst allein und auf meine Weise mit einer Sache vertraut zu machen. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich halte mich mit Beurteilungen und Stellungnahmen zurück, bis ich mir einen Einblick verschafft habe und ausreichend Bescheid weiß. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich überlege und probiere vorher, wie ich eine Sache angehe, und lasse mich gern unvorbereitet auf etwas ein. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich ergreife nicht so schnell Partei; im Streit der Meinungen versuche ich, möglichst lange ein neutraler, objektiver Beobachter zu bleiben. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Ich erspare mir gern durch gründliches Erkunden und kritisches Abwägen überflüssige Irrwege. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Ich lerne am besten, wenn ich zunächst sorgfältig beobachte und zuhöre. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Wenn ich lerne, betrachte ich vorher alle Seiten einer Aufgabe. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Wenn ich lerne, überlege ich genau, bevor ich handele. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Ich lerne am besten, wenn ich mich zurückhalte, bis ich Übersicht habe. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Ich lerne am besten, wenn ich gelassen an eine Sache herangehen kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Kategorie C

Ich stimme dieser Aussage...

1 = ...nicht zu.; 2 = ...kaum zu.; 3 = ...ziemlich zu.; 4 = ...voll zu.

- | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich ziehe Lernsituationen vor, in denen ich die Struktur und die Zusammenhänge durchschauen kann, bei denen es klar ist, worauf es ankommt. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Ein Erfahrungsaustausch fängt erst dann an, mich zu interessieren, wenn es auch zu einer rationalen Auswertung der Erfahrungen kommt. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich ziehe wenig Nutzen aus Lernsituationen, in denen man selber entdecken soll, was Fachleute bereits herausgefunden haben und vorstellen können. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich habe es gern, wenn systematisch Analysen von Tatsachen und Theorien vorherrschen. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Ich bin erst zufrieden, wenn ich etwas „auf den Begriff“ bringen kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Ich lerne am besten, wenn ich mich auf logische Überlegungen stützen kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Wenn ich lerne, löse ich Probleme durch Nachdenken. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Ich lerne am besten, wenn ich Probleme analysieren kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Wenn ich lerne, bin ich jemand, der kritisch bewertet. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Wenn ich lerne, bin ich jemand, der rational vorgeht. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Kategorie D

Ich stimme dieser Aussage...

1 = ...nicht zu.; 2 = ...kaum zu.; 3 = ...ziemlich zu.; 4 = ...voll zu.

- | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Ich gewinne nicht viel aus Lernsituationen, in denen ich eine passive Rolle habe. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Für mich ist es eine Zumutung, wenn ich nur zuhören und lesen darf, was andere mir zu sagen haben. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich ziehe es vor, die Dinge selbst zu erproben und mich davon zu überzeugen, was möglich ist. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich beteilige mich gern aktiv an Diskussionen in kleineren Gruppen. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. In einem Projekt mitzuarbeiten, ist für mich am besten geeignet. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Selber zu experimentieren und die Dinge praktisch vorzuführen, erspart viele Worte. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Ich lerne am besten, wenn ich Ergebnisse aus meiner Arbeit sehen kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Ich lerne am besten, wenn ich praktisch damit umgehen kann. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Ich lerne am besten, wenn ich Gelegenheit zum Ausprobieren habe. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Ich bin neugierig, den Dingen auf den Grund zu gehen. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Anhang E - Fragebogen Medien 1 und Medien 2

Fragebogen - Medien 1

Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Abt. Physikdidaktik



Mit diesem Fragebogen möchten wir ihre Einstellung zu folgenden Kategorien erfahren:

1. Lernmotivation,
2. Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien,
3. Selbstwirksamkeit,
4. Grad der Selbststeuerung,
5. Planvolles Handeln,
6. Eigeninitiative

Die Kategorien 1,2,3, 5 und 6 umfassen 4 Fragen und die Kategorie 4 umfasst 6 Fragen. Die Auswertung des Fragebogens geschieht anonym, niemand erfährt, was Sie geantwortet haben.

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:

1 = trifft zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft nicht zu

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen, müssen Sie folgende Codierung ausfüllen:

Letzen beiden Zahlen des Geburtsjahrs:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Geschlecht:
Der erste und letzte Buchstabe des Vornamens der Mutter:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="m"/>
Der letzte und erste Buchstabe des Vornamens des Vaters:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="w"/>

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Stefan Pietrusky

Universität Koblenz Landau Campus Landau,
Fortstr. 7, 76829 Landau

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:
 1 = trifft zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft nicht zu

Lernmotivation

- | | |
|--|--|
| 1. Beim Lernen mit digitalen Medien bin ich motivierter als mit analogen Medien. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich finde es gut, dass ich mithilfe digitaler Medien im eigenen Tempo lernen kann und die Inhalte schrittweise dargeboten werden. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich würde gerne häufiger digitale Medien beim Lernen verwenden. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich bin aufmerksamer beim Lernen und geben mir mehr Mühe, wenn digitale Medien zum Einsatz kommen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien

- | | |
|--|--|
| 1. Im Umgang mit digitalen Medien fühle ich mich sicher. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Im Allgemeinen bereitet mir das Lernen mit digitalen Medien wenig Probleme. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Auftretende medienbedingte Schwierigkeiten kann ich in der Regel lösen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Die Verwendung unbekannter Lernprogramme kann ich schnell lernen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Selbstwirksamkeit

- | | |
|--|--|
| 1. Beim Lernen mit digitalen Medien kann ich Zusammenhänge schneller herstellen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich kann mir beim Lernen mit digitalen Medien eigene Ziele setzen und das Erreichen dieser, nachvollziehbarer überprüfen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Das Lernen mit digitalen Medien ermöglicht mir ein aktives, selbstgesteuertes Lernen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Mein Lernerfolg verbessert sich durch das Lernen mit ort- und zeitunabhängigen Medien. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:
 1 = trifft zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft nicht zu

Grad der Selbststeuerung

- | | |
|---|--|
| 1. Ich kann meinen Lernprozess mithilfe der Lernmaterialien selbst steuern. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich kann meine Lernziele mithilfe der Lernmaterialien bestimmen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich kann meinen Lernprozess mithilfe der Lernmaterialien planen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich kann meine Lernstrategie mithilfe der Lernmaterialien anpassen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 5. Die Lernmaterialien erlauben mir wiederholendes Lernen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 6. Die Lernmaterialien ermöglichen mir ein Lernen im eigenen Tempo. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Planvolles Handeln

- | | |
|---|--|
| 1. Ich plane mein Vorgehen im Voraus. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Bevor ich etwas unternehme, verschaffe ich mir einen genauen Überblick. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich plane systematisch die einzelnen Schritte meines Vorgehens. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Bevor ich etwas unternehme, überlege ich mir auch alternative Vorgehensweisen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Eigeninitiative

- | | |
|---|--|
| 1. Lernprobleme gehe ich aktiv an. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Wenn mir ein Lerninhalt unklar ist, ergreife ich die Initiative und wiederhole ihn. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Bei Problemen unterbreche ich das Lernen und versuche gedanklich Zusammenhänge herzustellen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Um den Lerninhalt zu strukturieren, mache ich mir Notizen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Fragebogen - Medien 2

Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Abt. Physikdidaktik



UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU

Mit diesem Fragebogen möchten wir ihre Einstellung zu folgenden Kategorien erfahren:

1. Benutzerfreundlichkeit, 2. Nützlichkeit, 3. Ausdauer,
4. Grad der Selbststeuerung, 5. Umgang mit Fehlern,
6. Lernzielkontrolle

Die Kategorien 1,2,3,5 und 6 umfassen 4 Fragen und die Kategorie 4 umfasst 6 Fragen. Die Auswertung des Fragebogens geschieht anonym, niemand erfährt, was Sie geantwortet haben.

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:

1 = trifft zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft nicht zu

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen, müssen Sie folgende Codierung ausfüllen:

Letzen beiden Zahlen des Geburtsjahrs:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	Geschlecht:	<input type="checkbox"/>
Der erste und letzte Buchstabe des Vornamens der Mutter:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> m
Der letzte und erste Buchstabe des Vornamens des Vaters:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> w

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Stefan Pietrusky

Universität Koblenz Landau Campus Landau,
Fortstr. 7, 76829 Landau

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:
 1 = trifft zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft nicht zu

Benutzerfreundlichkeit

- | | |
|---|--|
| 1. Die einzelnen Inhalte waren verständlich dargestellt, so dass ich die Aufgaben lösen konnte. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Die optische Gestaltung der Inhalte war ansprechend und hat mir geholfen, Zusammenhänge besser zu verstehen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Die Lernmaterialien waren strukturiert aufgebaut, so dass ich meinen Lernprozess planen konnte. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Das Arbeiten mit den Lernmaterialien hat mir keine Schwierigkeiten bereitet. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Nützlichkeit

- | | |
|--|--|
| 1. Durch das Lernen mit digitalen Lernmaterialien verkürzt sich die Lerndauer. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich würde es begrüßen, wenn öfter mit digitalen Lernmaterialien gelernt werden könnte. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Mit digitalen Lernmaterialien kann ich gestellte Aufgaben leichter erledigen, weil ich schneller Zusammenhänge herstellen kann. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Für mich sind digitale Lernmaterialien ein nützliches Arbeitsmittel. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Ausdauer

- | | |
|---|--|
| 1. Ich lerne mit großer Ausdauer mit digitalen Medien. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich verfolge meine Lernziele, wenn ich mit digitalen Medien lerne, kontinuierlich. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich arbeite an Problemen, bis ich sie gelöst habe, wenn ich mit digitalen Medien lerne. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich beschäftige mich konzentriert über einen längeren Zeitraum mit den gestellten Aufgaben, wenn ich mit digitalen Medien lerne. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Um die Fragen zu beantworten, verwenden wir folgende Skala:
 1 = trifft zu; 2 = trifft eher zu; 3 = trifft eher nicht zu; 4 = trifft nicht zu

Grad der Selbststeuerung

- | | |
|--|--|
| 1. Ich konnte mit den Lernmaterialien meinen Lernprozess selbst steuern. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Ich konnte mit den Lernmaterialien meine Lernziele bestimmen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Ich konnte mit den Lernmaterialien meinen Lernprozess planen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich konnte mit den Lernmaterialien meine Lernstrategie anpassen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 5. Die Lernmaterialien erlaubten wiederholendes Lernen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 6. Die Lernmaterialien ermöglichten ein Lernen im eigenen Tempo. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Umgang mit Fehlern

- | | |
|--|--|
| 1. Ich empfinde es als belastend, einen Fehler zu machen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Wenn ich einen Fehler mache, behebe ich ihn sofort. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Auch wenn ich einen Fehler mache, verliere ich mein Ziel nicht aus den Augen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Ich mache mir während des Lernens öfter Sorgen, etwas falsch zu machen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Lernzielkontrolle

- | | |
|--|--|
| 1. Beim Lernen geht es mir darum, etwas Interessantes zu lernen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2. Beim Lernen geht es mir darum, soviel wie möglich zu lernen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3. Beim Lernen geht es mir darum, zum Nachdenken angeregt zu werden. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4. Beim Lernen geht es mir darum, ein Verständnis für die Lerninhalte zu bekommen. | 1 2 3 4
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

Quellenverzeichnis Fragebogen Medien1

1. Lernmotivation (Bildat, 2005)
2. Sicherheit im Umgang mit digitalen Medien (Bildat, 2005)
3. Selbstwirksamkeit (Bildat, 2005)
4. Selbststeuerung (Konrad, 2008)
5. Planvolles Handeln (Bildat, 2005)
6. Eigeninitiative (Aeppli, 2005)

Quellenverzeichnis: Fragebogen Medien 2

1. Benutzerfreundlichkeit (Prenzel, 2002)
2. Nützlichkeit (Prenzel, 2002)
3. Ausdauer (Bildat, 2005)
4. Selbststeuerung (Konrad, 2008)
5. Umgang mit Fehlern (Bildat, 2005)
6. Lernzielkontrolle (Bildat, 2005)

Anhang F - Fragebogen Wissenstests

Fragebogen - Wärmelehre 1 - Pretest

Fragebogen - Wärmelehre 1

Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Abt. Physikdidaktik



UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU

Mit diesem Fragebogen möchten wir herausfinden, welche Aufgaben Sie im Bereich der Wärmelehre beantworten können. Für die Beantwortung der 5 Fragen haben Sie 10 Minuten Zeit. Sie brauchen also nicht zu hetzen!

Bei den Fragen handelt es sich um Multiple-Choice Aufgaben, die Sie durch das Ankreuzen der entsprechenden Felder (A,B,C oder D) beantworten. Die Auswertung des Fragebogens geschieht anonym, niemand erfährt, was Sie geantwortet haben.

Neben der Beantwortung der Fragen, bitten wir Sie, zusätzlich anzukreuzen, wie sicher Sie sich bei Ihrer Lösung sind.

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen, müssen Sie folgende Codierung ausfüllen:

Letzen beiden Zahlen des Geburtsjahrs:	<input type="checkbox"/>	Geschlecht:
Der erste und letzte Buchstabe des Vornamens der Mutter:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> m
Der letzte und erste Buchstabe des Vornamens des Vaters:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> w

Tragen Sie hier, die für die Bearbeitung des Fragebogens benötigte Zeit ein:

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Stefan Pietrusky

Universität Koblenz Landau Campus Landau,
Fortstr. 7, 76829 Landau

1. Ein heißer Eisenklotz wird in kaltem Wasser, der sich in einer Glaswanne befindet, abgekühlt.

Welche Aussage beschreibt den Vorgang physikalisch korrekt?

- A** Es geht Temperatur vom heißen Klotz auf das kalte Wasser über.
- B** Es fließt Wärme vom heißen Klotz in das kalte Wasser.
- C** Es fließt Kälte vom kalten Wasser in den heißen Klotz.
- D** Die schnelleren Teilchen des Klotzes gelangen in das Wasser und erhitzen es.

2. Wie ändert sich die Entropie von Wasser, wenn das Wasser verdunstet?

- A** Sie nimmt zu.
- B** Sie bleibt gleich.
- C** Sie nimmt ab.

3. Die Temperatur eines Körpers steigt. Was bedeutet das für eines der Teilchen, aus denen der Körper besteht?

- A** Seine Masse nimmt zu.
- B** Seine mittlere Temperatur nimmt zu.
- C** Seine mittlere Geschwindigkeit nimmt zu.
- D** Sein Volumen nimmt zu.

4. Zwei sonst gleiche Gegenstände unterscheiden sich nur in ihrer Temperatur. Der Gegenstand mit der höheren Temperatur besitzt mehr Energie.

Erinnern Sie sich daran, wie die genaue Bezeichnung dieser Energie lautet:
(nur eine Antwort ist richtig)

- A** Kernenergie
- B** temporäre Energie
- C** elastische Energie
- D** innere Energie
- E** Entropie
- F** Temperaturenergie

5. Ein Metalllöffel, ein Holzlöffel und ein Plastiklöffel werden in heißes Wasser gestellt. Welcher Löffel fühlt sich nach einer Minute am heißesten an?

- A** der Metalllöffel
- B** der Holzlöffel
- C** der Plastiklöffel
- D** Alle drei Löffel fühlen sich gleich an.

Zusatzfrage: Ich habe Interesse am Fach Physik.

- 1** trifft zu
- 2** trifft eher zu
- 3** trifft eher nicht zu
- 4** trifft nicht zu

Fragebogen - Wärmelehre 2 - Post- und Verzögerungstest

Fragebogen - Wärmelehre 2

Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Abt. Physikdidaktik



UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU

Mit diesem Fragebogen möchten wir herausfinden, welche Aufgaben Sie im Bereich der Wärmelehre mithilfe, der Ihnen vorliegenden Materialien beantworten können. Für die Beantwortung der Fragen haben Sie 60 Minuten Zeit.

Bei den Fragen handelt es sich um Multiple-Choice Aufgaben, die Sie durch das Ankreuzen der entsprechenden Felder (A,B,C oder D) beantworten. Die Auswertung des Fragebogens geschieht anonym, niemand erfährt, was Sie geantwortet haben.

Neben der Beantwortung der Fragen, bitten wir Sie, zusätzlich anzukreuzen, ob Ihnen die Materialien bei dem Fragebogen geholfen haben und wie sicher Sie sich bei Ihrer Lösung sind.

Bezüglich der Materialien unterteilen sich die Stufen in:
1 = sehr hilfreich; 2 = eher hilfreich; 3 = eher nicht hilfreich; 4 = nicht hilfreich

Bevor Sie mit der Beantwortung der Fragen beginnen, müssen Sie folgende Codierung ausfüllen:

Letzen beiden Zahlen des Geburtsjahrs:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	Geschlecht:	<input type="checkbox"/>
Der erste und letzte Buchstabe des Vornamens der Mutter:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> m
Der letzte und erste Buchstabe des Vornamens des Vaters:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> w

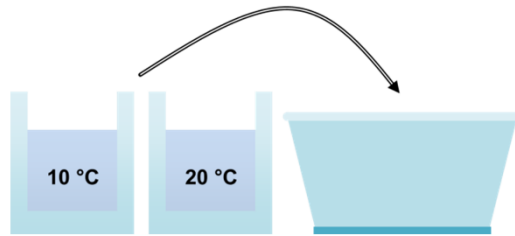
Tragen Sie hier, die für die Bearbeitung des Fragebogens benötigte Zeit ein:

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Stefan Pietrusky

Universität Koblenz Landau Campus Landau,
Fortstr. 7, 76829 Landau

1) Auf dem Tisch stehen zwei Gläser mit 0,2 l Leitungswasser der Temperatur 10 °C und 20 °C. Das Wasser aus beiden Gläsern wird nun schnell zusammen in eine große Schale geschüttet. Wie groß ist die Temperatur der Mischung in der Schale direkt nach dem Mischen etwa?



- A 10 °C
- B 15 °C
- C 20 °C
- D 30 °C

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

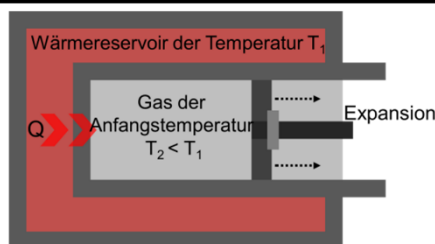
2) Patrick berichtet, dass beim letzten Lagerfeuer im Spätherbst die Luft schon so kalt war, dass er es nur noch ausgehalten hat, wenn er sich abwechselnd mit der Brust und dem Rücken zum Feuer gedreht und gewärmt hat.

Was kann man mit dieser Aussage darüber sagen, durch welchen Vorgang die Energie vom Feuer zu Patrick transportiert wird?

- A Nur durch Wärmeleitung
- B Nur durch Konvektion
- C Nur durch Wärmestrahlung
- D Durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung gleichermaßen

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

3) Ein Gas wird in einem Kolben erhitzt. Dabei leistet das Gas Arbeit gegen den äußeren Luftdruck. (Dieser soll über die Dauer des Versuches konstant sein) Um was für einen Prozess handelt es sich?



- A isotherm
- B isobar
- C isochor
- D adiabatisch

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

4) Stell dir folgende Situation vor und überlege, in welchem Fall die ausgetauschte Wärmemenge am größten ist.

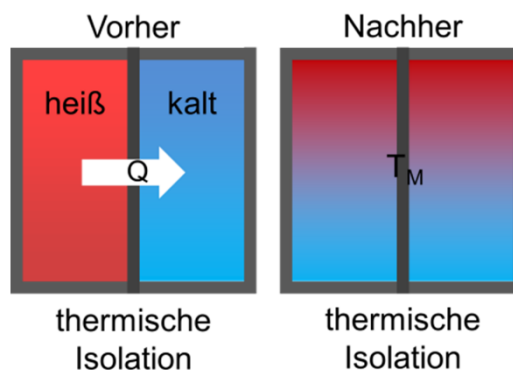
- A** Ein Plastikbecher mit 0,5 l Wasser wird im Kühlschrank von Zimmertemperatur (22 °C) auf 8 °C abgekühlt.
- B** Ein Plastikbecher mit 0,5 l Wasser der Temperatur 14 °C steht auf dem Schreibtisch und erwärmt sich auf Zimmertemperatur (22 °C).
- C** Ein Plastikbecher mit 0,5 l Wasser der Temperatur 36 °C kühlt in einem aufgeheizten Büro (30 °C) auf die Bürotemperatur ab.
- D** Ein Plastikbecher mit 0,5 l Wasser steht in der Sonne und wird von Zimmertemperatur (22 °C) auf 30 °C erwärmt.

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

5) Zwei identische Metallblöcke unterschiedlicher Temperatur werden in thermischen Kontakt gebracht. Aufgrund der Temperaturdifferenz fließt Wärme vom heißen in den kalten Metallblock, bis sich eine Temperatur T_M eingestellt hat.

Mit S_h und S_k bezeichnen wir die Entropie des heißen bzw. kalten Metallblocks. Die Entropie des Gesamtsystems aus den beiden Metallblöcken, nachdem sich eine Mischtemperatur eingestellt hat, bezeichnen wir mit S_G . Welche Aussage ist dann richtig?

- A** Die Gesamtentropie des Systems $S_h + S_k$ vor dem Wärmeaustausch ist genauso groß wie die Gesamtentropie S_G des Systems nachher.
- B** Die Gesamtentropie des Systems $S_h + S_k$ vor dem Wärmeaustausch ist größer als die Gesamtentropie S_G des Systems nachher.
- C** Die Gesamtentropie des Systems $S_h + S_k$ vor dem Wärmeaustausch ist kleiner als die Gesamtentropie S_G des Systems nachher.



Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

6) Zwei Mengen an Wasser und Alkohol, die beide die gleiche Masse haben, werden mit zwei identischen Brennern erhitzt. Die Wassermenge und die Alkoholmenge haben zu Beginn die gleiche Temperatur, 20 °C. Nach zwei Minuten beträgt die Temperatur des Alkohols 30 °C. Der Alkohol wird nicht weiter erhitzt. Das Wasser hat die Temperatur nach erst vier Minuten und wird dann nicht weiter erhitzt.

Welche Aussage über die innere Energie des Wassers und des Alkohols nach dem Erhitzen ist richtig?

- A) Der Alkohol besitzt eine größere innere Energie.
- B) Das Wasser besitzt eine größere innere Energie.
- C) Alkohol und Wasser besitzen gleich viel innere Energie.

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

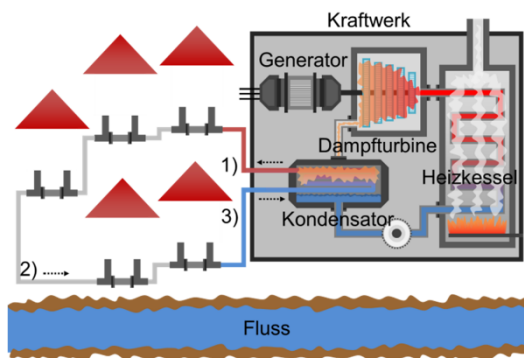
7) Das Dorf Wermenz erhält Fernwärme von einem nahegelegenen Kraftwerk.

Die geschlossene Fernwärmeleitung kann man grob in drei Teilstücke aufteilen:

1. Die Leitung vom Kraftwerk nach Wermenz.
2. Das Leitungssystem innerhalb Wermenz.
3. Die Rückleitung von Wermenz zum Kraftwerk.

Die Energie für die Fernwärme wird über einen Wärmetauscher aus der Abwärme der Dampfturbinen gewonnen.

Es gäbe die Möglichkeit, das dritte Teilstück der Leitung, auf den Grund eines nahe gelegenen Flusses, zu verlegen.



- A) Dann müsste dieses Teilstück besser isoliert werden, um den Wirkungsgrad des Kraftwerks nicht zu verschlechtern.
- B) Wenn die Wassertemperatur unter der Lufttemperatur liegt, wäre das für den Wirkungsgrad optimal.
- C) Am Wirkungsgrad würde sich nichts ändern, aber die verfügbare Wärmeenergie in Wermenz würde sich verringern.
- D) Das würde weder an dem Wirkungsgrad des Kraftwerks noch an der verfügbaren Wärmeenergie in Wermenz etwas ändern.

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

8) Malte kocht Suppe in einem Schnellkochtopf, weil es schneller geht als in einem normalen Kochtopf. Es weiß allerdings nicht sicher, warum das so ist. In der Anleitung hat er gelesen, dass Schnellkochtöpfe einen Deckel haben, der luftdicht abschließt, so dass der Innendruck über den Atmosphärendruck steigt.

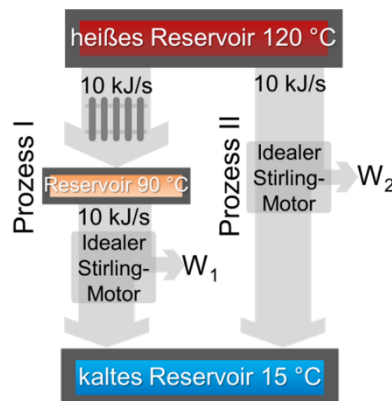
Wem stimmen Sie aus physikalischer Sicht zu?

- A)** Malte glaubt, dass der Druck, das Wasser erst oberhalb von 100 °C sieden lässt und es daher heißer wird.
- B)** Rike meint: „Der höhere Druck erzeugt mehr Wärme.“
- C)** Jörg sagt: „Der Dampf hat eine höhere Temperatur als die kochende Suppe, deshalb wird diese schneller fertig.“
- D)** Sarah glaubt: „In Schnellkochtöpfen wird die Wärme gleichmäßiger im Essen verteilt.“

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

9) Im Unterricht diskutieren Mark, Lisa, Tatjana und Till über die Arbeiten W_1 und W_2 , die, die in der Abbildung dargestellten, idealen Stirling-Motoren liefern. Welche Aussagen sind physikalisch korrekt?

- A)** Mark meint: "Da man nichts über die Stirling-Motoren weiß, kann man auch nicht sagen, welcher die größere Arbeit liefert."
- B)** Lisa entgegnet: "Der Stirling-Motor im Prozess II liefert mehr Arbeit, da die Temperaturdifferenz größer ist."
- C)** Tatjana sagt: "Die Wärme, die pro Sekunde in die Stirling-Motoren fließt, ist bei beiden Prozessen die gleiche, also ist auch die Arbeit, die die beiden Stirling-Motoren liefern gleich groß."
- D)** Till behauptet: "Im Prozess I führt die Wärme, die der Stirling-Motor aufnimmt mehr Entropie mit sich, deshalb muss auch mehr Entropie wieder abgegeben werden und die Arbeit W_1 , die der Stirling-Motor liefert, ist die kleinere von beiden."



Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

10) Jörg hat an einem heißen Sommertag drei Getränkeflaschen im Rucksack. Damit sie kühl bleiben, hat er sie in Alufolie eingewickelt. Im Rucksack sind außerdem ein Wollpullover und eine Plastiktüte. Auf dem Weg in Schwimmbad rutscht eine der Flaschen in den Pullover. Eine andere liegt in der Plastiktüte. Nach ein paar Stunden schwimmen, möchte er einen kühlen Schluck nehmen.

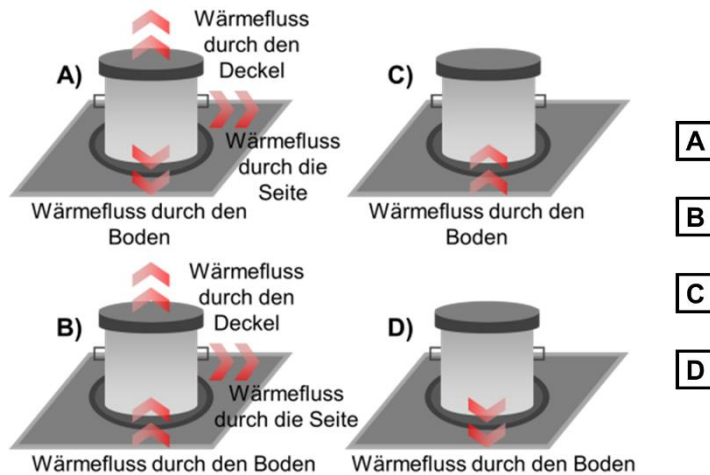
Welche der Flaschen wird am kältesten geblieben sein?

- A)** Die nur in Alufolie eingewickelte Flasche.
- B)** Die Flasche, die in den Wollpulli gerutscht ist.
- C)** Die Flasche aus der Plastiktüte.

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

11) Markus kocht zum Mittagessen Nudeln. Dabei bringt er das Wasser, dass er zum Kochen der Nudeln benötigt zuerst mit einem Wasserkocher zum Kochen. Das kochende Wasser schüttet er dann in einen Topf auf dem Herd. Dann erst schaltet er den Herd ein.

Nach einer Minute hat die Herdplatte unter dem Topf ungefähr die Temperatur 70 C. Das Wasser hat sich in dieser Zeit auf 90 C abgekühlt. Welche der folgenden Abbildungen beschreibt den Wärmefluss zu diesem Zeitpunkt am besten?



Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

15) Ina nimmt eine Dose mit 0,33 l und eine Plastikflasche mit 0,5 l Cola aus dem Kühlschrank, die dort beide über Nacht standen. Sie misst schnell die Temperatur der Dose. Diese beträgt 7 °C. Was schließt du aus diesem Ergebnis über die Temperatur der Cola, die in der Plastikflasche ist?
Die Temperatur der Cola in der Plastikflasche...

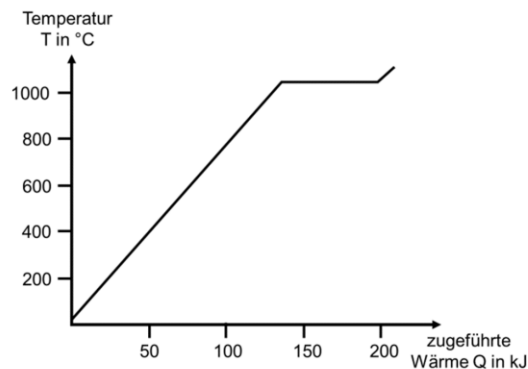
- A ...ist 7 °C.
- B ...liegt unter 7 °C.
- C ...liegt über 7 °C.

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

16) Von einem Kilogramm eines unbekanntes Stoffes wird das folgende Wärme-Temperatur-Diagramm aufgenommen. Die Wärmezufuhr war über die gesamte Dauer der Messung konstant.

Welcher der folgenden Stoffe ist im Diagramm dargestellt?

- A Kupfer (Schmelztemperatur $T_S = 1083$ °C, spez. Wärmekapazität $c = 0,385$ kJ/Kkg, spez. Schmelzwärme $q_S = 205$ kJ/kg)
- B Zinn (Schmelztemperatur $T_S = 232$ °C, spez. Wärmekapazität $c = 0,226$ kJ/Kkg, spez. Schmelzwärme $q_S = 59$ kJ/kg)
- C Gold (Schmelztemperatur $T_S = 1065$ °C, spez. Wärmekapazität $c = 0,125$ kJ/Kkg, spez. Schmelzwärme $q_S = 66$ kJ/kg)
- D Silber (Schmelztemperatur $T_S = 961$ °C, spez. Wärmekapazität $c = 0,235$ kJ/Kkg, spez. Schmelzwärme $q_S = 104$ kJ/kg).



Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

17) Ein festgeschraubter Metalldeckel auf einem Gurkenglas lässt sich leichter lösen, wenn er unter heißes Wasser gehalten wird.
Ein Grund dafür ist, dass das heiße Wasser...

- A ...das Glas zusammenzieht.
- B ...den Metalldeckel zusammenzieht.
- C ...das Glas stärker ausdehnt als den Metalldeckel.
- D ...den Metalldeckel stärker ausdehnt als das Glas.

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

18) Maria nimmt einen Eisblock aus ihrem Gefrierfach, in dem dieser schon mehrere Tage gelegen hat. Sie misst schnell die Temperatur des Eisblocks und erhält $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Außerhalb des Gefrierfaches erwärmt sich der Eisblock auf $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und fängt an zu schmelzen.

Wie verändern sich die Moleküle des Eisblocks, wenn sich seine Temperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ändert?

- A Sie werden größer.
- B Sie bewegen sich schneller.
- C Sie schmelzen.
- D Sie werden wärmer.

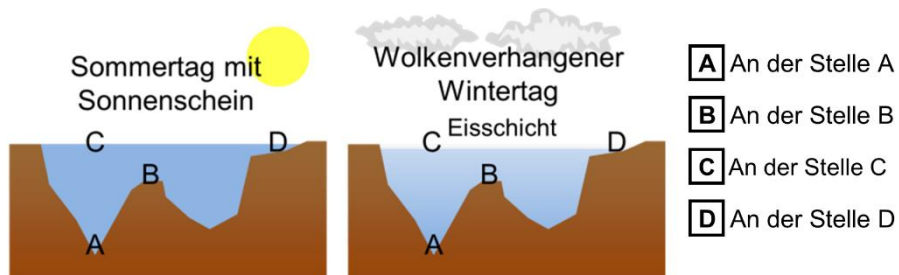
Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

19) Welche drei physikalischen Größen verbindet der erste Hauptsatz der Thermodynamik miteinander?

- A) innere Energie, Volumen, Druck
- B) Wärme, Volumenarbeit, innere Energie
- C) Wärme, Temperatur, Volumenarbeit
- D) innere Energie, Entropie, Temperatur

Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

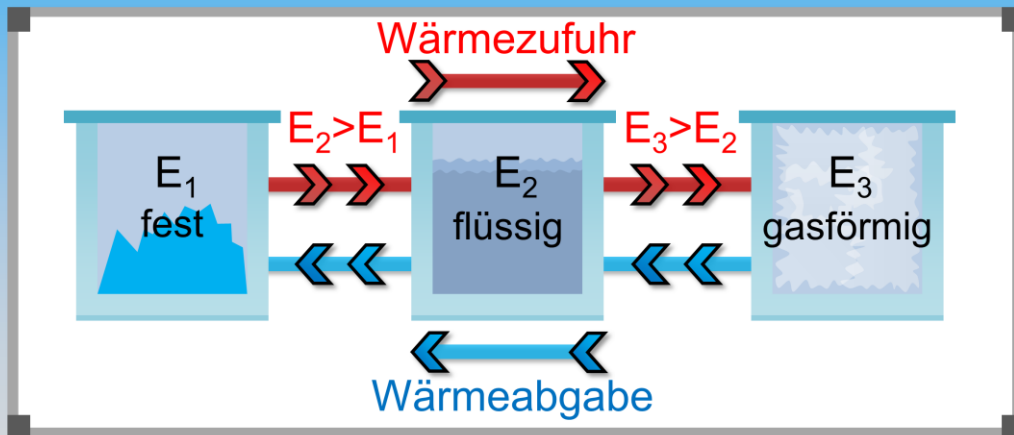
20) Die Abbildung zeigt den Querschnitt eines Badesees an einem heißen Sommertag mit strahlender Sonne und einem kalten Wintertag mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. An welchen Stellen / an welcher Stelle ist das Wasser des Badesees im Sommer am wärmsten?



Die Materialien haben mir bei der Beantwortung der Frage geholfen? 1 4

Aggregatzustandsänderungen

Es gibt insgesamt drei (fest, flüssig und gasförmig) Aggregatzustände.

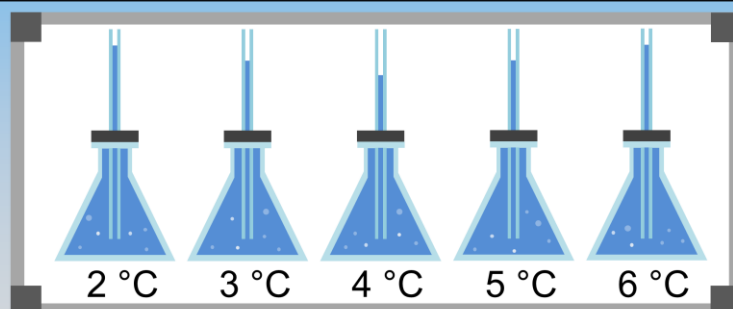


Die Änderung des Aggregatzustands eines Stoffes ist abhängig von der Temperatur und dem Druck.

Anomalie des Wassers

Eine Eigenschaft, die Wasser von allen anderen Flüssigkeiten unterscheidet, ist, dass es bei 4 °C sein kleinstes Volumen und damit seine größte Dichte hat.

Sowohl bei Temperaturerhöhungen und Temperaturerniedrigungen nimmt das Volumen von Wasser, geht man von 4 °C aus, zu.



In der Physik wird dieses unnormale thermische Verhalten von Wasser als Anomalie des Wassers bezeichnet.

Anomalie des Wassers



Bei einer Temperatur über 4 °C verhält sich Wasser wie andere Flüssigkeiten.

Nimmt die Temperatur ab, verringert sich das Volumen.
Nimmt die Temperatur zu, vergrößert sich das Volumen.

Kühlt sich Wasser jedoch unter 4 °C ab, nimmt das Volumen bis 0 °C wieder zu!

Wenn das Wasser dann gefriert, dehnt es sich weiter aus!

Die Dichte von Wasser bei 0 °C beträgt etwa 1 g/cm³.
Die Dichte von Eis bei 0 °C beträgt 0,92 g/cm³.

Anomalie des Wassers



Aufgrund dieser Unterschiede in der Dichte schwimmt Eis auf dem Wasser.

Eis 0°C Dichte = 0,92 g/cm³.

Wasser 0°C Dichte = 1 g/cm³.

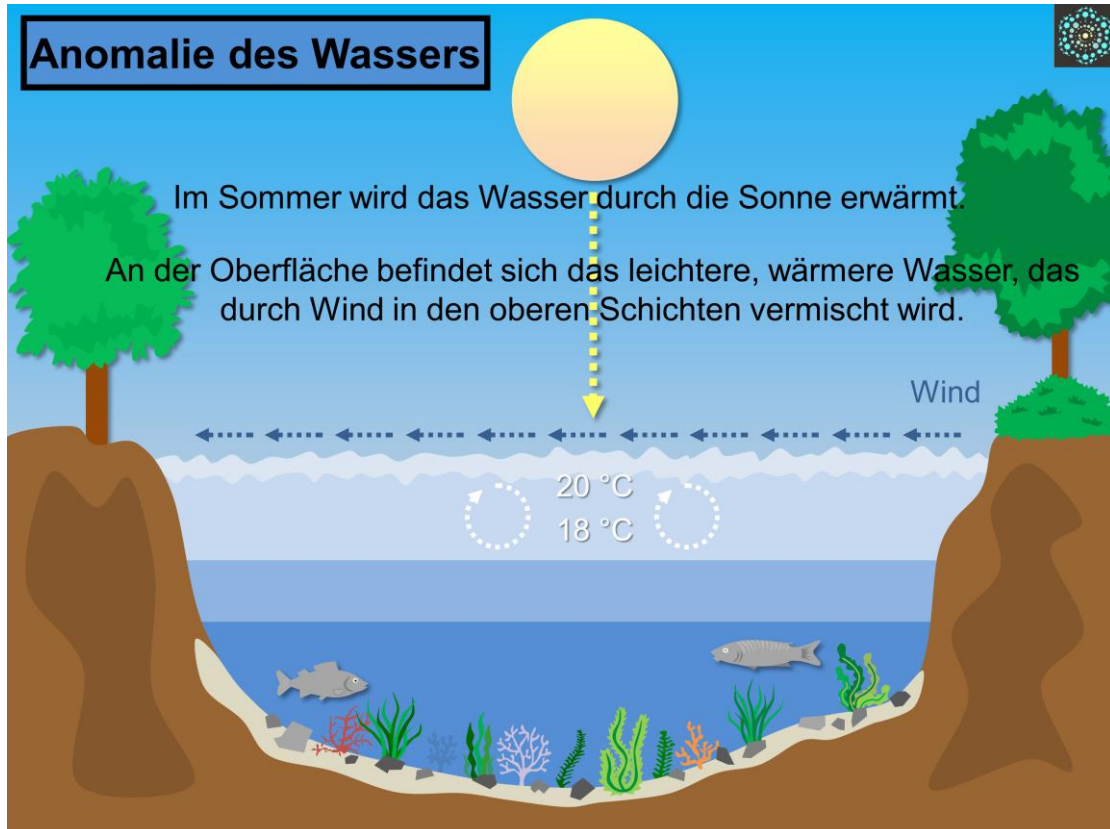
Durch dieses Dichteverhältnis sind von einem Eisberg 9/10 unter Wasser und nur etwa 1/10 über dem Wasser!

Anomalie des Wassers

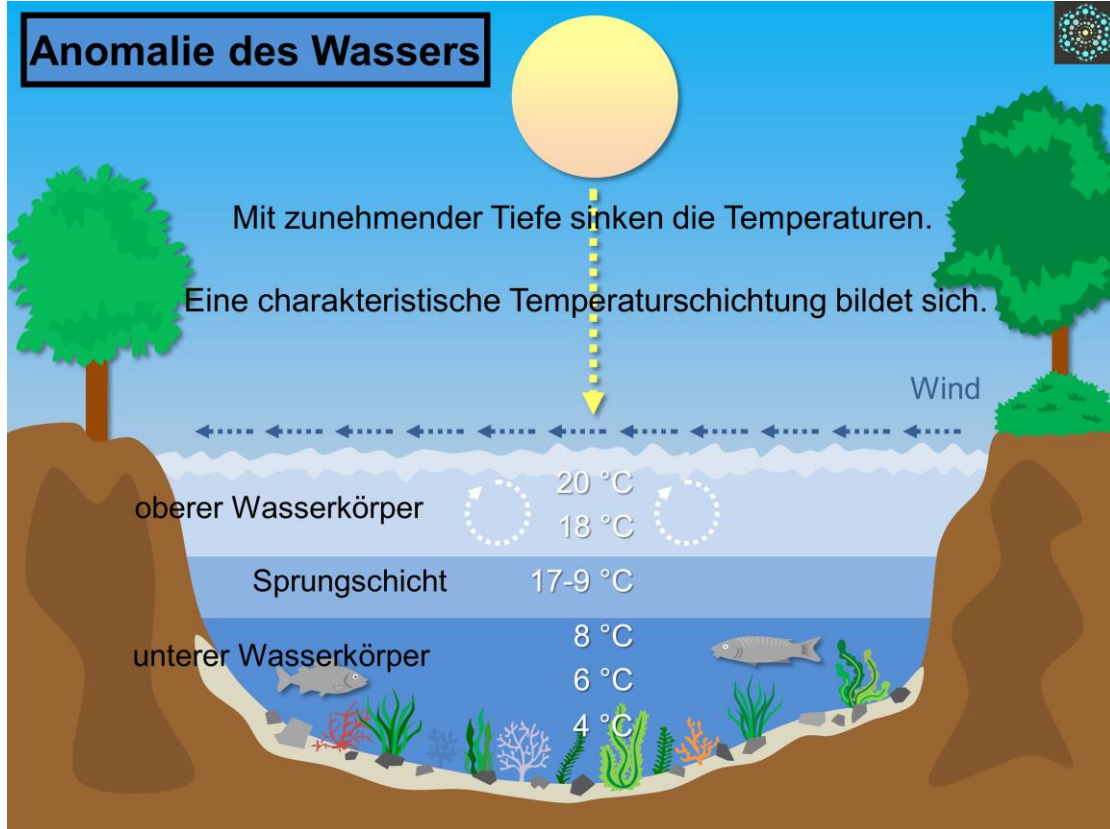


Durch die Anomalie des Wassers wird das Leben von Tieren und Pflanzen im Wasser überhaupt erst möglich!

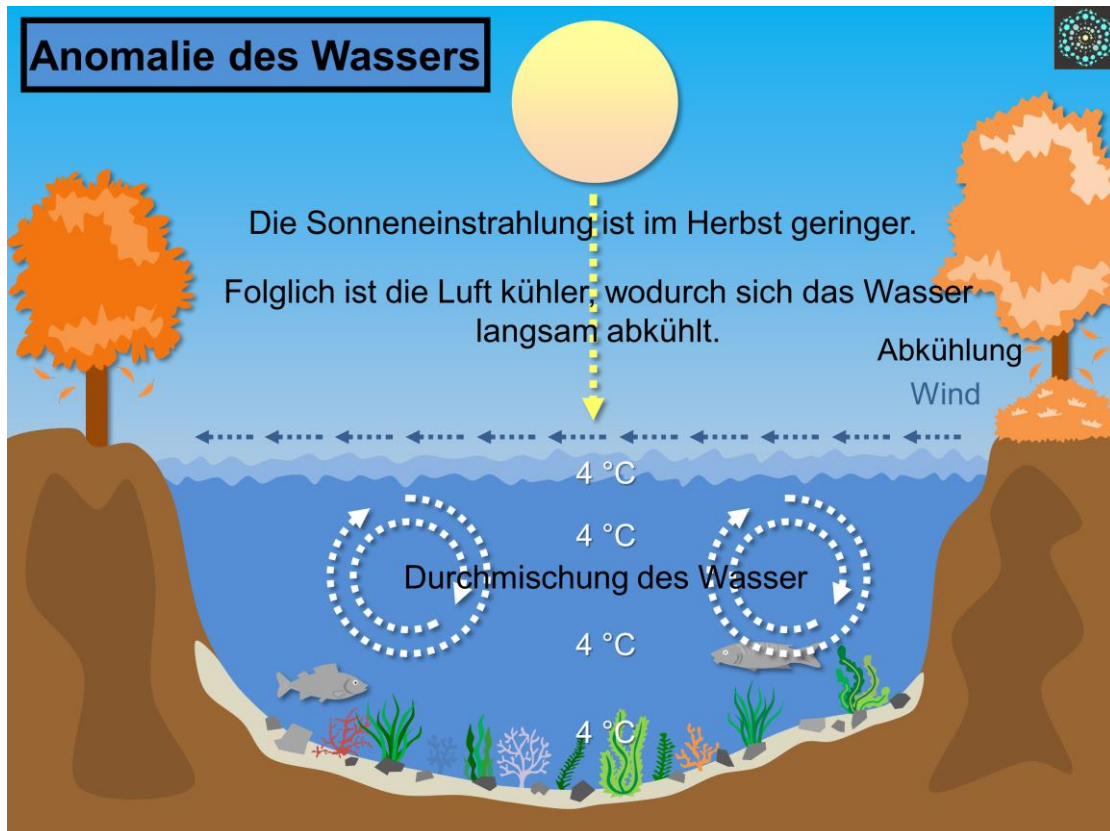
Anomalie des Wassers



Anomalie des Wassers



Anomalie des Wassers

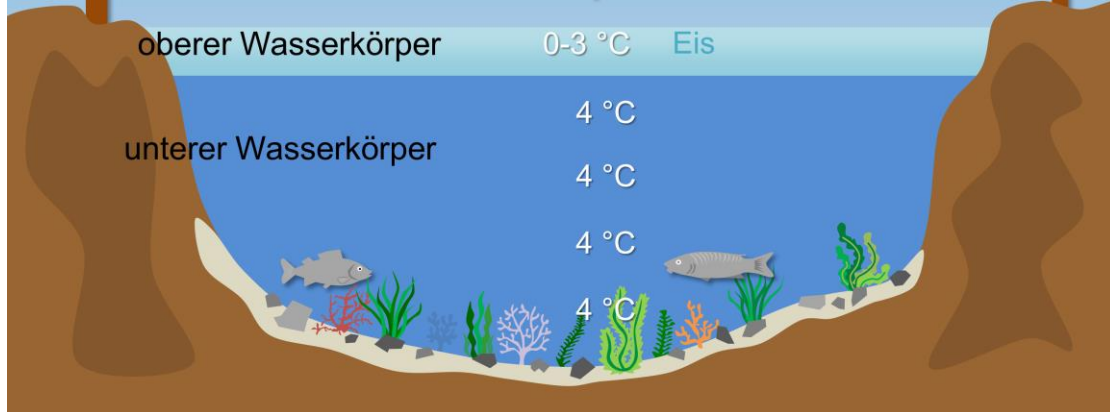


Anomalie des Wassers

weitere Abkühlung

Im Winter tritt durch weitere Abkühlung wieder ein stabiler Zustand ein.

Es bildet sich erneut eine charakteristische Temperaturschicht.



Anomalie des Wassers

weitere Abkühlung

Das Wasser mit einer Temperatur von 4 °C, also der größten Dichte, sinkt nach unten.

Kühlt sich die Temperatur weiter ab, sinkt die Temperatur des Oberflächenwassers.

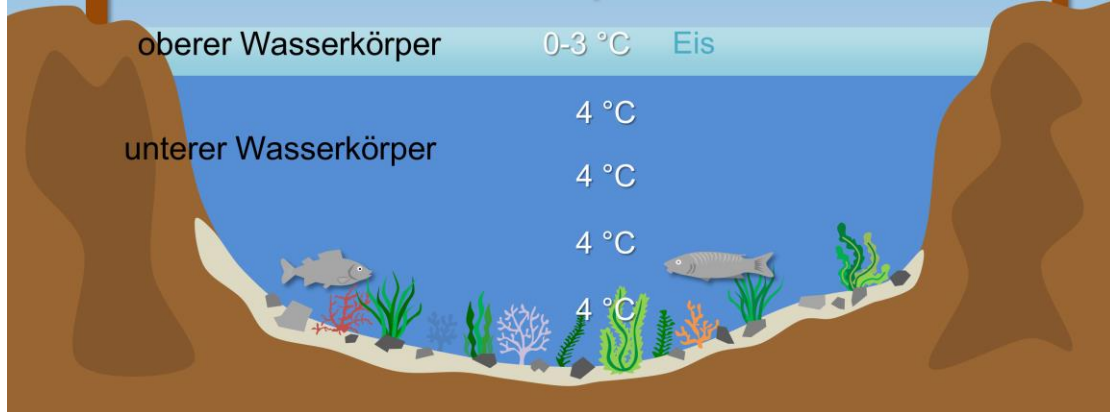


Anomalie des Wassers

weitere Abkühlung

Die Temperatur des Oberflächenwassers liegt schließlich bei $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und beginnt damit zu gefrieren.

Da die Dichte, wie bereits beschrieben, von Eis geringer ist, als die von Wasser, schwimmt es oben als stabile Schicht.

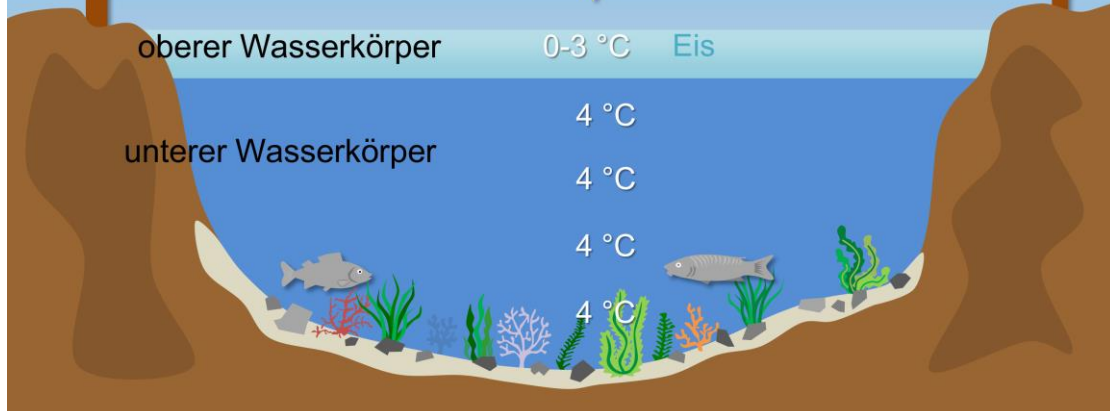


Anomalie des Wassers

weitere Abkühlung

Ist das Gewässer ausreichend tief, befindet sich unter dem Eis eine Wasserschicht mit einer Temperatur von $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Im Wasser lebende Tiere und Pflanzen haben sich an dieses Verhältnis angepasst und können dadurch überleben.



Anomalie des Wassers



Entropie in der Badewanne

Mithilfe einer Badewanne lässt sich der Begriff Entropie noch besser erklären.

Wenn die Seifenbläschen zerplatzen, sich der Schaum langsam auflöst und die Wasseroberfläche glatt wird...

Die Anzahl der einnehmbaren Mikrozustände ist also gestiegen!

... nimmt die Entropie zu, da durch das Zerplatzen des Schaums, der Raum für die Moleküle der Flüssigkeit nicht mehr auf die Bläschen beschränkt ist.

Erster Hauptsatz der Thermodynamik



Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist aus dem Satz der Energieerhaltung abgeleitet und lautet:

„Jedes System besitzt eine innere Energie (U), die nur durch den Transport von Energie in Form von Arbeit (W) und/oder Wärme (Q) über die Grenzen des System geändert werden kann.“

Als Gleichung dargestellt bedeutet dies:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Die oben dargestellte Gleichung gilt für ein ruhendes System. Die äußere Energie E_a (potentielle und kinetische Energie) kommt bei bewegten Systemen hinzu.

Gleichung – ruhendes System

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Gleichung – bewegtes System

$$\Delta U + \Delta E_a = \Delta Q + \Delta W$$

Erster Hauptsatz der Thermodynamik



In einem abgeschlossenen System bleibt die Energie unverändert!

Unterschiedliche Energieformen können nach dem ersten Hauptsatz ineinander umgewandelt werden.

Energie kann nicht aus dem Nichts erzeugt oder vernichtet werden!

Grundgleichung der Wärmelehre



Mithilfe der Grundgleichung der Wärmelehre kann die Wärme berechnet werden, die einem Körper entweder zugeführt oder von ihm abgegeben wird.

Nur unter der Bedingung, dass es zu keiner Änderung des Aggregatzustandes kommt, gilt für die zugeführte oder abgegebene Wärme:

Gleichung der Wärmelehre

Kelvin: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ Celsius: $Q = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$

Q = Wärme

c = spezifische Wärmekapazität

m = Masse des Körpers

$\Delta T / \Delta \vartheta$ = Temperaturänderung des Körpers

Innere Energie



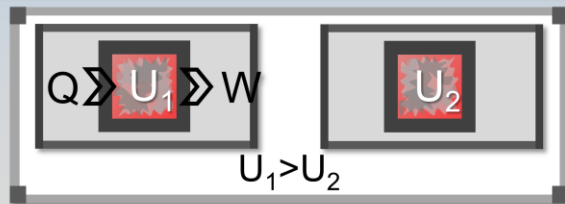
Die gesamte, für thermodynamische Umwandlungsprozesse zur Verfügung stehende, Energie eines physikalischen Systems wird als innere Energie (U) bezeichnet.

Das hierbei beschriebene physikalische System befindet sich in Ruhe und im thermodynamischen Gleichgewicht.

Aus einer Vielzahl von Energien setzt sich die innere Energie (U) zusammen.

In einem abgeschlossenen System ist die innere Energie (U), nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik, konstant!

Wenn das betrachtete System mit seiner Umgebung Arbeit (W) oder Wärme (Q) austauscht, verändert sich seine innere Energie (U).



Innere Energie



Die Summe der Änderung der inneren Energie (U) ergibt sich dann aus der, dem System zugeführten Wärme (Q) und der Arbeit (W), die am System geleistet wird.

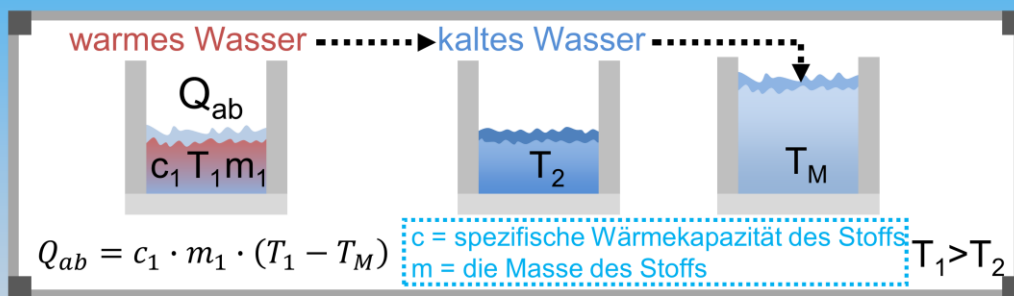
Als Gleichung dargestellt, berechnet sich die innere Energie durch:

$$\Delta U = Q + W$$

Richmannsche Mischungsregel



Bei diesem Beispiel gehen wir davon aus, dass die beiden Flüssigkeiten unterschiedliche Temperaturen aufweisen.



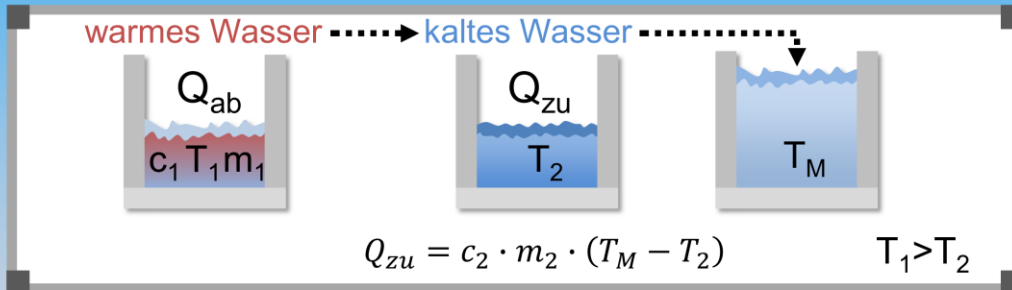
Nach dem Mischen der beiden Flüssigkeiten liegt eine gemeinsame Mischungstemperatur T_M vor.

Beim Mischen gibt die zunächst wärmere Flüssigkeit T_1 Wärme Q ab. Die abgegebene Wärme Q_{ab} kann mit der Grundgleichung der Wärmelehre berechnet werden.

Richmannsche Mischungsregel



Bei diesem Beispiel gehen wir davon aus, dass die beiden Flüssigkeiten unterschiedliche Temperaturen aufweisen.



Die Temperatur, die von der kälteren Flüssigkeit T_2 aufgenommen wird, kann ebenfalls berechnet werden.

Richmannsche Mischungsregel



Da laut dem Grundgesetz des Wärmeaustausches, abgegebene und aufgenommene Wärme gleich groß sind, gilt:

$$Q_{ab} = c_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_M) \quad Q_{zu} = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_M - T_2)$$

Die beiden Gleichungen werden gleichgesetzt:

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_M) = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_M - T_2)$$

Die Gleichung wird nach der Mischungstemperatur T_M umgestellt:

$$T_M = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot T_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot T_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}$$

Dadurch erhält man die richmannsche Mischungsregel die lautet:

Unter den Bedingungen, dass keine Veränderung des Aggregatzustands vorliegt und kein Wärmeverlust stattfindet, kann die Mischtemperatur berechnet werden.

Richmannsche Mischungsregel



Vereinfachen lässt sich die richmannsche Mischungsregel, wenn zwei Flüssigkeiten des gleiches Stoffs (Bsp. Wasser) gemischt werden.

$$T_M = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot T_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot T_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}$$

Da die spezifische Wärmekapazität bei gleichen Stoffen gleich ist, kann diese entfernt werden:

$$T_M = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2}$$

In der Praxis treten Wärmeverluste auf, die durch die Gleichung nicht berücksichtigt werden können, deshalb kann die Mischtemperatur, je nach Art der Mischung, höher oder niedriger sein als berechnet.

Wärme aufnehmen oder abgeben kann auch das Gefäß, in dem gemischt wird!

Richmannsche Mischungsregel



Berechnen wir ein Beispiel zur Mischungstemperatur:

Gemischt werden 11 Liter Wasser mit einer Temperatur von 19 °C mit 15 Liter Wasser einer Temperatur von 38 °C. Welche Endtemperatur stellt sich ein?

$$T_M = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2}$$

Aus dem Text entnehmen wir die benötigten Informationen und fügen diese in die Gleichung ein.

$$T_M = \frac{11\text{kg} \cdot 19^\circ\text{C} + 15\text{kg} \cdot 38^\circ\text{C}}{11\text{kg} + 15\text{kg}}$$

$$T_M = \frac{209 + 570}{26} = 30^\circ\text{C}$$

Die Mischungstemperatur beträgt 30°C!

Spezifische Wärmekapazität



Die spezifische Wärmekapazität ist eine thermodynamische Stoffeigenschaft und beschreibt die Fähigkeit eines Stoffes, thermische Energie zu speichern.

Wieviel Wärme (Q) von einem Stoff bei Temperaturänderungen pro Masseneinheit aufgenommen werden kann, wird durch die spezifische Wärmekapazität angegeben.

Spezifische Wärmekapazität (c): Die Einheit von c:

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

$$[c] = \frac{J}{kg \cdot K}$$

ΔQ = die Wärme, welche dem Stoff zugeführt oder entzogen wird.

m = die Masse des Stoffes &

$\Delta T = T_2 - T_1$ die Differenz von End- und Anfangstemperatur

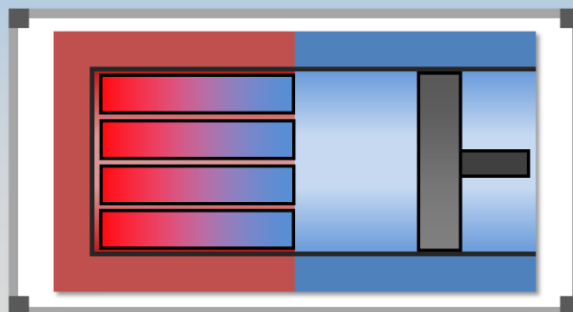
Stirlingmotor



Im Jahre 1816 meldete Robert Stirling ein Patent für einen wesentlich verbesserten Heißluftmotor an.

Der „economizer“ (Regenerator) war dabei das neuartige Bauteil seines Motors, das den Wirkungsgrad erheblich steigern konnte.

Anhand folgendem schematischen Aufbaus, soll der Prozess des Stirlingmotors auf den kommenden Seiten erklärt werden.



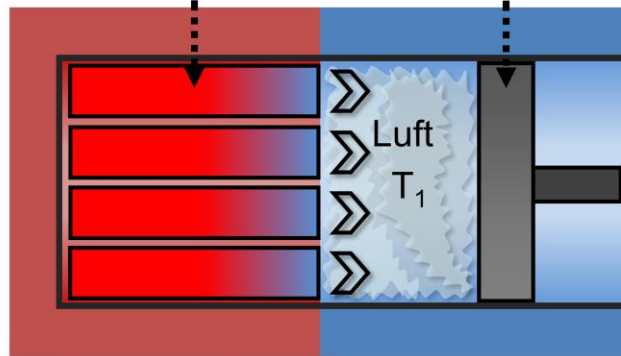
Stirlingmotor



Erster Zwischentakt

Im ersten Zwischentakt wird der Verdränger nach rechts geschoben.

Verdrängerkolben Arbeitskolben



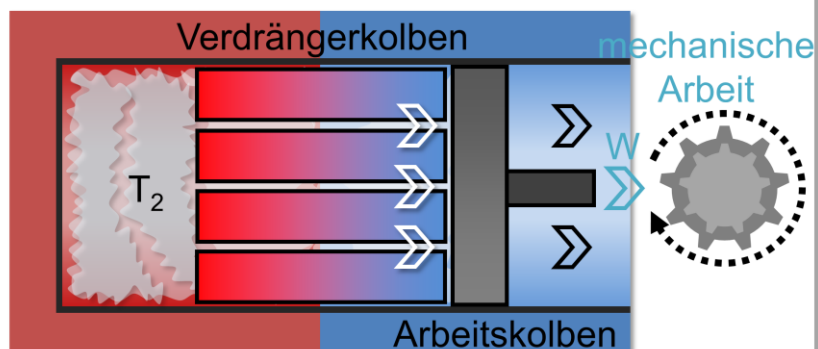
Die Luft auf der rechten Seite strömt dabei durch die Bohrungen des Verdrängerkolbens und heizt diese auf. Es steigt der Luftdruck.

Stirlingmotor



Arbeitstakt

Der Arbeitskolben wird durch die heiße Luft mit großer Kraft nach rechts gepresst.

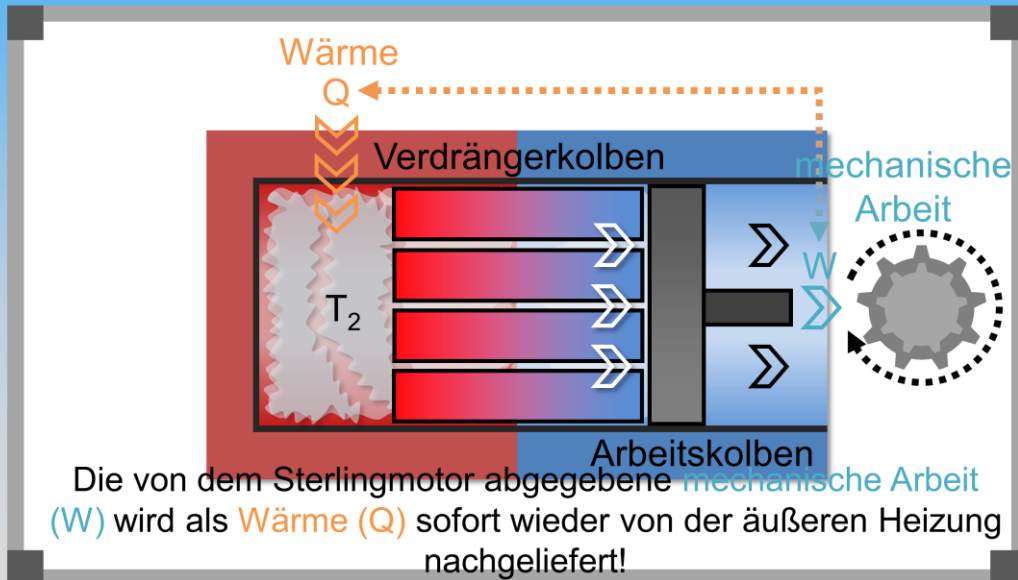


Die Verschiebung macht der Verdrängerkolben mit. Hierbei wird über ein Gestänge viel **mechanische Energie W** an ein Schwungrad abgegeben.

Stirlingmotor



Arbeitsstakt



Stirlingmotor



Zweiter Zwischentakt

Im zweiten Zwischentakt wird der Verdrängerkolben nach links geschoben. Die Luft strömt durch die Bohrungen in den rechten Zylinderbereich.

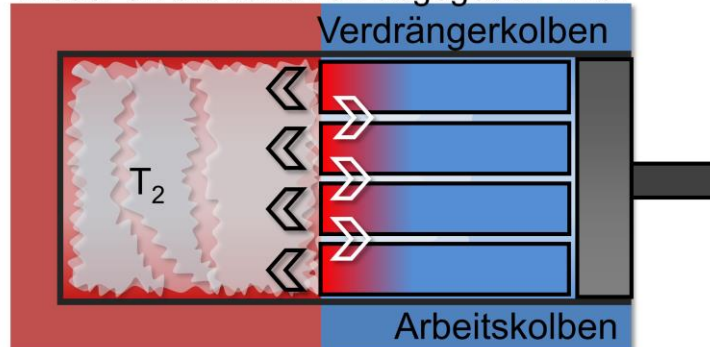


Stirlingmotor



Zweiter Zwischentakt

In diesem Schritt dient der Verdrängerkolben als Zwischenspeicher für die Energie, die im nächsten Zwischentakt wieder an die kalte Luft abgegeben wird.



Mithilfe dieses Regenerator-Prinzips, ist für das nächste Aufheizen der Luft keine Energiezufuhr von außen notwendig!

Stirlingmotor



Verdichtungstakt

Durch das Schwungrad wird der Arbeitskolben nach links bewegt und komprimiert dabei die kalte Luft im rechten Teil des Zylinders.

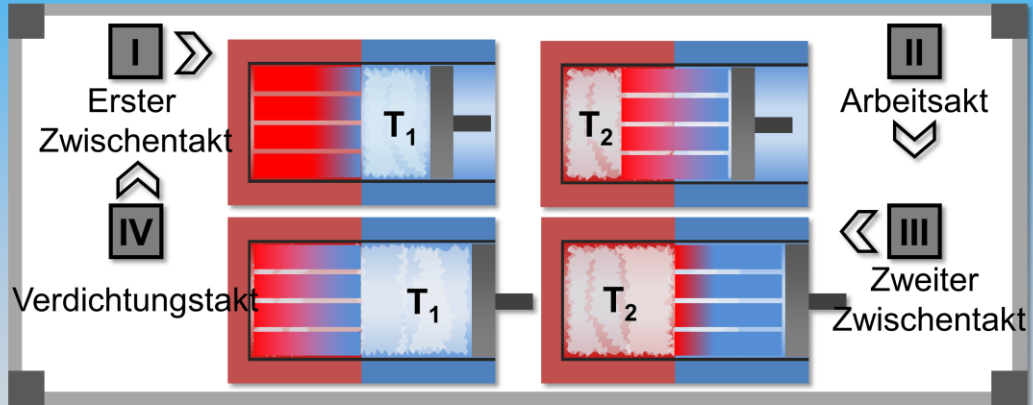


Die Energie W , in Form von mechanischer Energie, liefert das Schwungrad, Die Energie wandert als Abwärme Q durch die Zylinderwand in das Kühlwasser.

Stirlingmotor



Der Zyklus startet mit dem ersten Zwischentakt von neuem.



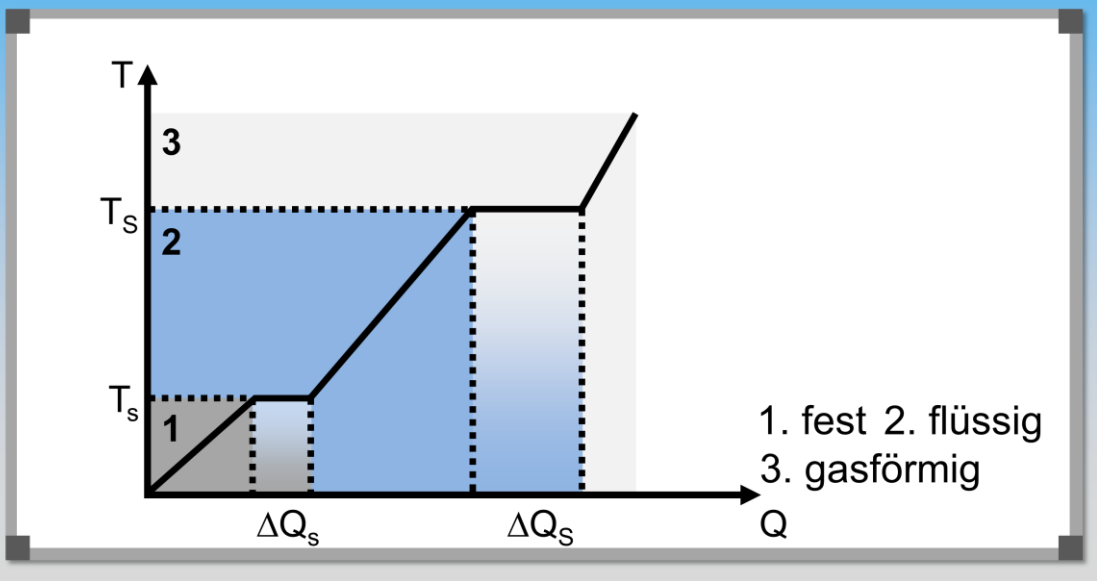
Mithilfe des noch heißen Verdrängerkolbens, wird die kühle Luft von der Temperatur T_1 auf T_2 aufgeheizt.

Läuft alles reibungslos, wird, ohne Energiezufuhr von außen, T_2 erreicht!

Wärme-Temperatur-Diagramm



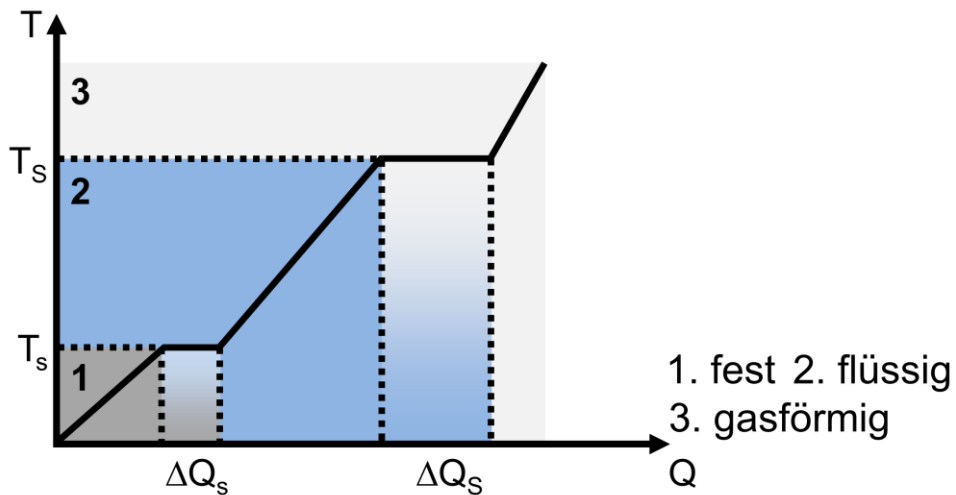
Im folgenden Koordinatensystem wird die Temperatur (T) eines Körpers in Abhängigkeit von der zugeführten Wärme (Q) dargestellt.



Wärme-Temperatur-Diagramm



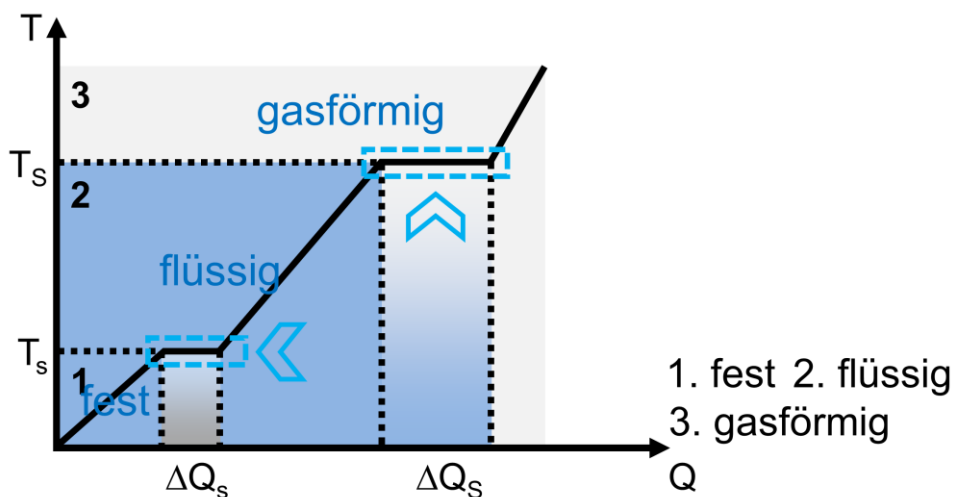
Im Diagramm haben wir einen Phasenübergang zwischen fester ($T < T_s$), flüssiger ($T_s < T < T_s$) und gasförmiger Phase ($T > T_s$).



Wärme-Temperatur-Diagramm



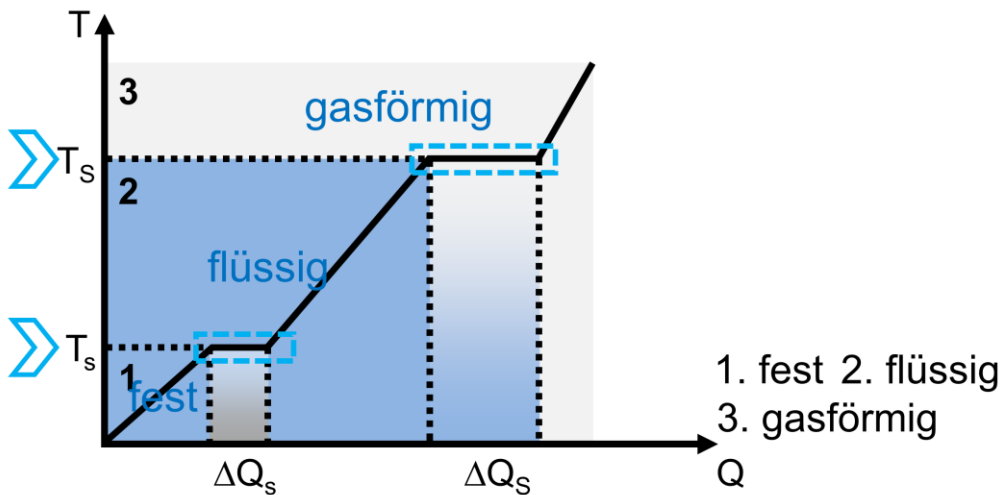
An **zwei Stellen** fallen Temperaturbereiche auf, bei der die Zuführung von Wärme keine Temperaturerhöhung nach sich zieht.



Wärme-Temperatur-Diagramm



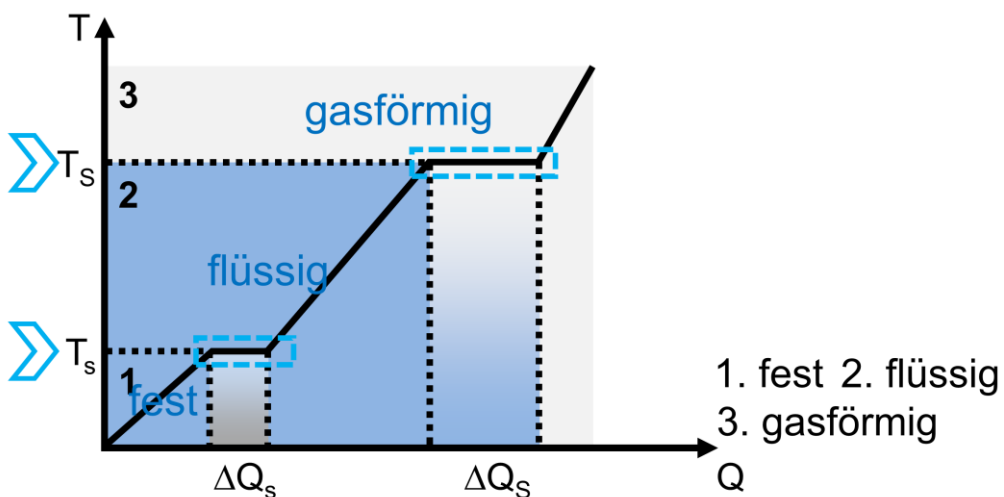
Bei der Temperatur T_s und T_s bewirkt die Zuführung oder Abgabe von Wärme keine Veränderung der Temperatur.



Wärme-Temperatur-Diagramm



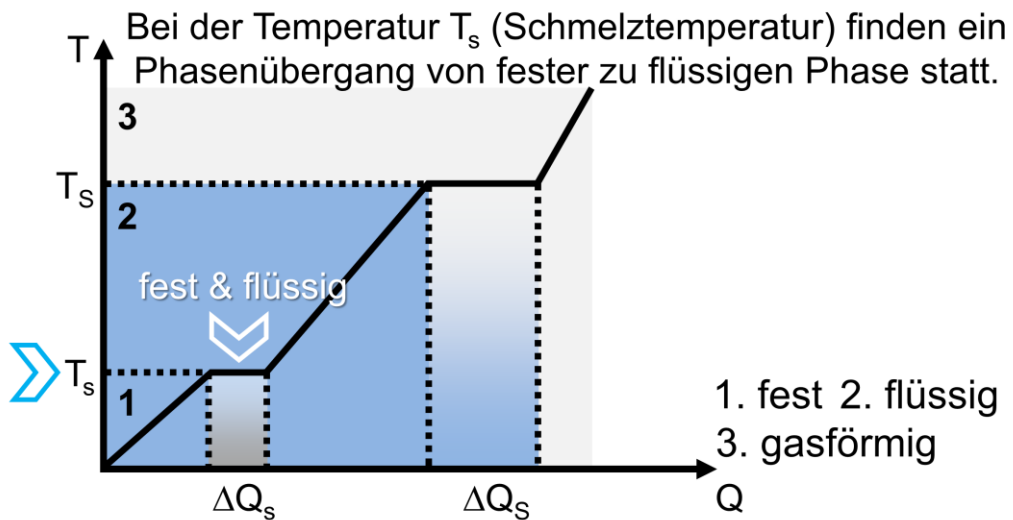
Als Energieart unterliegt die Wärme dem Gesetz der Energieerhaltung. Wohin verschwindet die zugeführte Energie?



Wärme-Temperatur-Diagramm



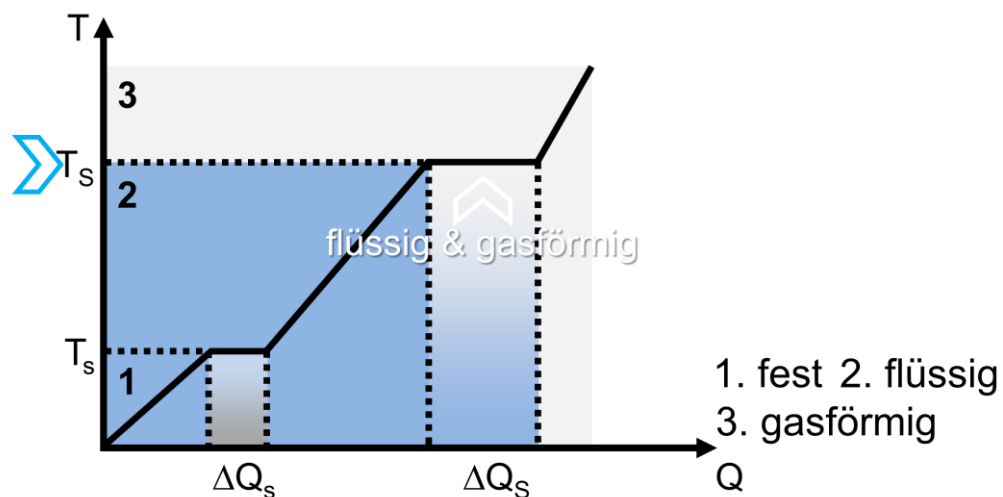
Dazu müssen die Aggregatzustände (Phasen) des Körpers berücksichtigt werden!



Wärme-Temperatur-Diagramm



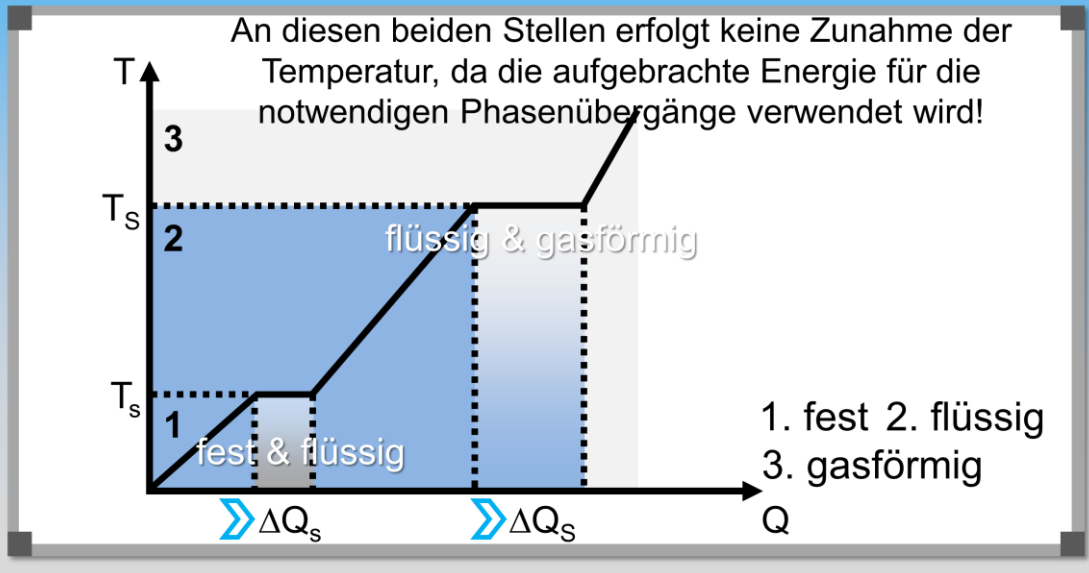
Bei der Temperatur T_s (Siedetemperatur) findet ein Phasenübergang von flüssiger zu gasförmigen Phase statt.



Wärme-Temperatur-Diagramm



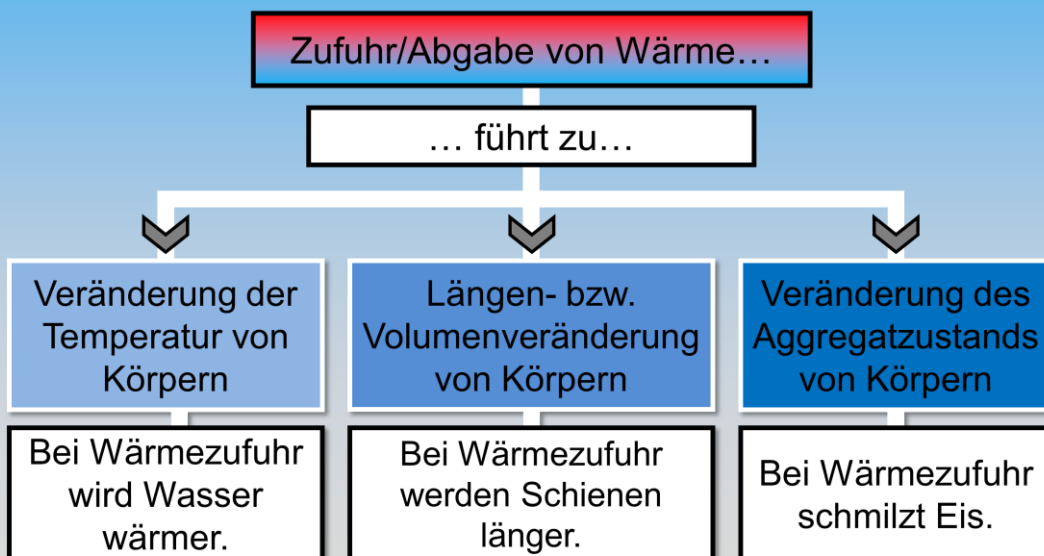
Die Wärme, die für den Phasenübergang notwendig ist, wird als Schmelzwärme ΔQ_s bzw. Verdampfungswärme ΔQ_s bezeichnet.



Wärmeübertragung



Es kann zu unterschiedlichen Auswirkungen kommen, wenn einem Körper Wärme zugeführt bzw. entzogen wird.



Wärmeübertragung

Der Transport von Energie infolge eines Temperaturunterschieds, über mindestens eine thermodynamische Systemgrenze hinweg, bezeichnet man als Wärmeübertragung.

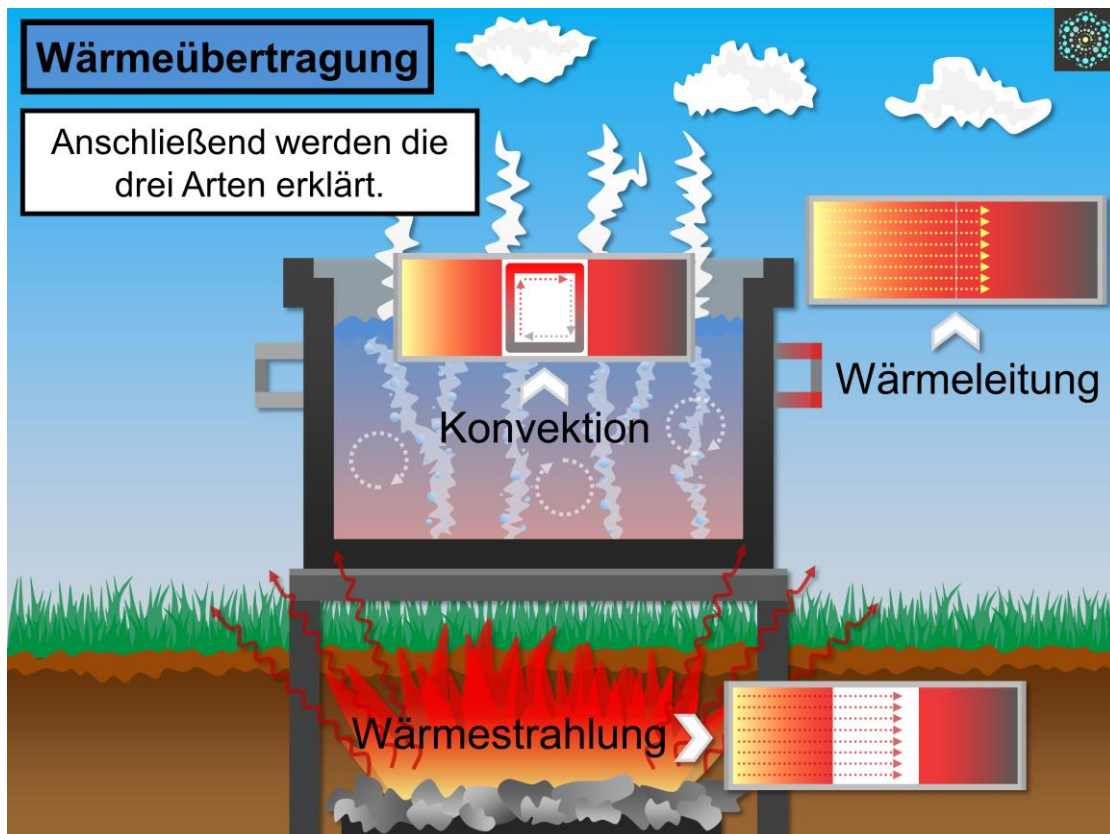
Die Energie, die sich hierbei überträgt, wird als Wärme bezeichnet und ist eine Prozessgröße.

Die Übertragung der Wärme erfolgt immer in Richtung der Orte mit tieferen Temperaturen.

Es gibt insgesamt drei Arten der Wärmeübertragung.

Wärmeübertragung





Wärmeübertragung - Wärmeleitung

Wenn die innere Energie von der Materie weitergegeben wird, ohne dass diese selbst mitbewegt wird, spricht man von Wärmeleitung.

Bei der Wärmeleitung führen die Teilchen eine thermische Bewegung aus.

Das Diagramm zeigt eine horizontale Schicht von Teilchen (gelbe Punkte). Ein Pfeil zeigt die Wärmeübertragung von links nach rechts. Die Teilchen auf der wärmeren Seite (links) bewegen sich stärker als die auf der kälteren Seite (rechts).

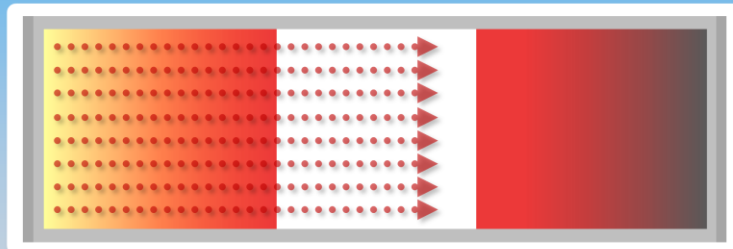
Hierbei gilt, je größer die Temperatur des Körpers, desto größer ist die mittlere Geschwindigkeit und somit auch die mittlere kinetische Energie der Teilchen.

Beispiele: Topf auf der Herdplatte, Bügeleisen usw.

Wärmeübertragung - Wärmestrahlung



Im Gegensatz zur Wärmeleitung benötigt die Wärmestrahlung kein Überträgermedium und kann somit auch durch materiefreien Raum hindurch erfolgen.



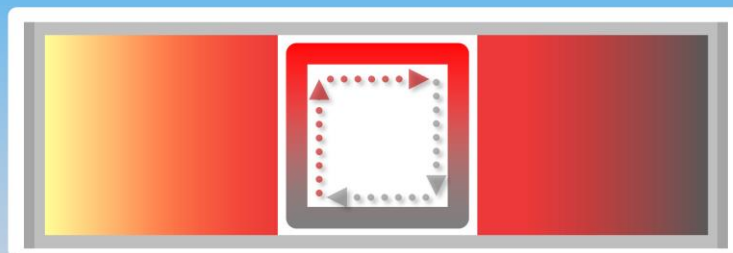
Hierbei gilt, je größer die Temperatur des Körpers, desto größer ist die mittlere Geschwindigkeit und somit auch die mittlere kinetische Energie der Teilchen.

Beispiele: Sonnenstrahlung, Heizstrahler, Toaster, Glühlampe usw.
Energieübertragung.

Wärmeübertragung - Konvektion



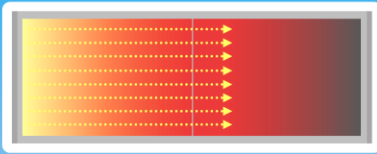
Die Mitführung von thermischer Energie in strömenden Flüssigkeiten oder Gasen wird als Konvektion bezeichnet.



Kommt der Strömungsprozess durch einen örtlichen, temperaturbedingten Dichteunterschied von selbst in Gang, spricht man von natürlicher Konvektion.

Beispiele: Im Kochtopf steigt heißes Wasser von unten nach oben, erwärmte Luft steigt auf.

Wärmeübertragung - Zusammenfassung



Wenn die innere Energie von der Materie weitergegeben wird, ohne dass diese selbst mitbewegt wird, spricht man von Wärmeleitung.



Bei der Wärmestrahlung wird kein Überträgermedium benötigt. Die Wärme kann somit auch durch materiefreien Raum hindurch erfolgen.



Die Mitführung von thermischer Energie in strömenden Flüssigkeiten oder Gasen wird als Konvektion bezeichnet.

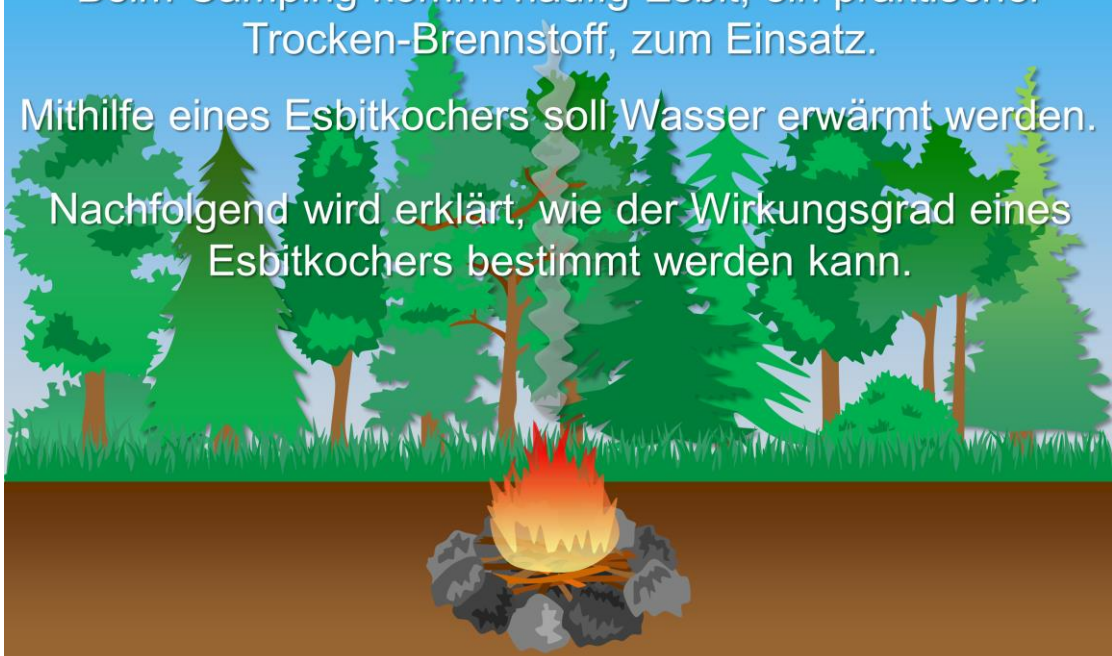
Wirkungsgrad - Bestimmung



Beim Camping kommt häufig Esbit, ein praktischer Trocken-Brennstoff, zum Einsatz.

Mithilfe eines Esbitkochers soll Wasser erwärmt werden.

Nachfolgend wird erklärt, wie der Wirkungsgrad eines Esbitkochers bestimmt werden kann.



Esbitkocher - Wirkungsgrad



Esbit liefert eine bestimmte Nutzenergie E_{Nutz} , die genutzt wird, um die Wärmeenergie des Wassers zu erhöhen.

$$E_{\text{Nutz}} = c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta$$

Bevor der Esbit aber die benötigte Nutzenergie liefert, muss chemische Energie aufgewendet werden E_{Auf} .

$$E_{\text{Auf}} = H \cdot m_{\text{Esbit}}$$

Bei H handelt es sich um den Heizwert des jeweiligen Brennstoffs, den man aus Tabellen entnehmen muss.

Der Heizwert H (Brennwert) von Esbit beträgt: 31.300 kJ/kg

Esbitkocher - Wirkungsgrad



Der Wirkungsgrad η eines Esbitkochers lässt sich demnach durch die Nutzenergie E_{Nutz} und die aufzuwendende Energie E_{Auf} berechnen.

$$\eta = E_{\text{Nutz}} / E_{\text{Auf}}$$

$$\eta = c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta / H \cdot m_{\text{Esbit}}$$

Um den Wirkungsgrad eines Esbitkochers zu bestimmen, wiegt man zunächst die Brennstofftablette ab (m_{Esbit}).

Bevor man das Esbit entzündet, wird ein Topf mit Wasser befüllt und die Masse des Wassers (m_w) und die Temperatur ($\vartheta_{w,1}$) bestimmt.

Esbitkocher - Wirkungsgrad



Ist dies getan, wird der Topf mit Wasser auf die Kochstelle gestellt und der Esbit entzündet.

Die Endtemperatur ($\vartheta_{w,2}$) des Wassers im Topf wird, nachdem die Brennstofftablette vollständig verbrannt ist, gemessen.

Anhand folgender Daten wird der Wirkungsgrad eines Esbitkocher beispielhaft berechnet:

$$m_{\text{Esbit}} = 14 \text{ g} \quad m_w = 400 \text{ g} \quad \vartheta_{w,1} = 18^\circ\text{C} \quad \vartheta_{w,2} = 62^\circ\text{C} \quad \Delta\vartheta = 44^\circ\text{C}$$

$$H_{\text{Esbit}} = 31.300 \text{ kJ/kg} = 31.3 \text{ kJ/g} = 31.300 \text{ J/g}$$

$c_w = 4,19 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$ spezifische Wärmekapazität von Wasser

Esbitkocher - Wirkungsgrad



Die Gleichung zur Berechnung des Wirkungsgrades lautet:

$$\eta = \frac{c_w \cdot m_w \cdot \Delta\vartheta}{H_{\text{Esbit}} \cdot m_{\text{Esbit}}}$$

In die Gleichung setzen wir die entsprechenden Werte ein:

$$m_{\text{Esbit}} = 14 \text{ g} \quad m_w = 400 \text{ g} \quad \vartheta_{w,1} = 18^\circ\text{C} \quad \vartheta_{w,2} = 62^\circ\text{C} \quad \Delta\vartheta = 44^\circ\text{C}$$
$$H_{\text{Esbit}} = 31.300 \text{ kJ/kg} = 31.3 \text{ kJ/g} = 31.300 \text{ J/g} \quad c_w = 4,19 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$$

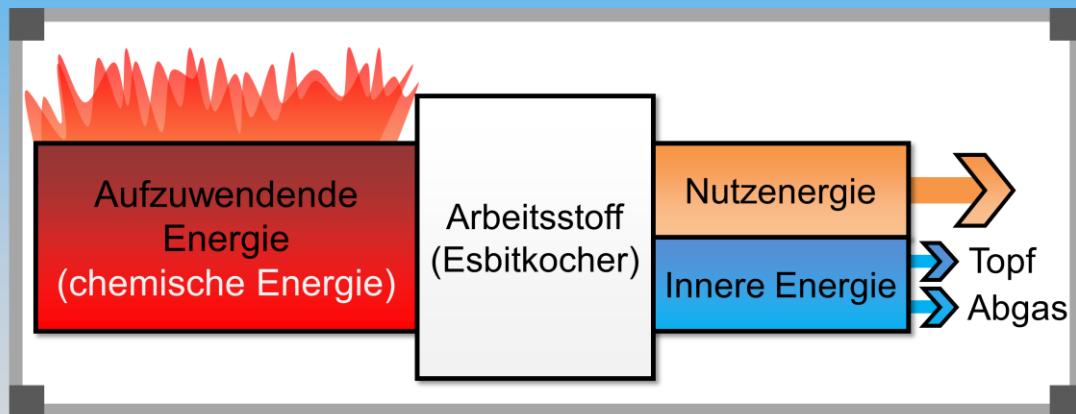
$$\eta = \frac{4,19 \cdot 400 \cdot 44}{31.300 \cdot 14} = \frac{73744}{125200} = 0,59 = 59 \%$$

Der Wirkungsgrad des Esbitkochers in diesem Beispiel beträgt 59 %

Esbitkocher - Wirkungsgrad



Die energetischen Verhältnisse werden mit dem Energieumwandlungsdiagramm übersichtlich dargestellt.



Wirkungsgrad



Die Effizienz von Energiewandlungen und Energieübertragungen wird durch den Wirkungsgrad bestimmt.

Der Wirkungsgrad setzt das Verhältnis der Nutzenergie E_{Nutz} zur zugeführten bzw. aufgewendeten Energie E_{Auf} ins Verhältnis.

Mit der Leistung (P) kann auch gerechnet werden, wenn keine Verfälschung durch gespeicherte Energie erfolgt.

Die Gleichung zur Berechnung des Wirkungsgrades lautet:

Energie

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Auf}}}$$

Leistung

$$\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Auf}}}$$

Es folgt ein Beispiel zur Berechnung des Wirkungsgrades einer Glühlampe.

Wirkungsgrad

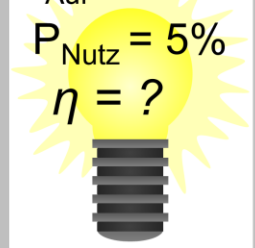
Die eingespeiste elektrische Leistung einer Glühlampe beträgt 100 %.

Die Lichtleistung der Glühlampe beträgt 5 %.

Der Wirkungsgrad der Glühlampe lässt sich wie folgt berechnen:

$$P_{\text{Auf}} = 100\%$$

$$P_{\text{Nutz}} = 5\%$$

$$\eta = ?$$


Leistung

$$\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Auf}}}$$



Leistung

$$\eta = \frac{5}{100} = 0,05$$

Der Wirkungsgrad der Glühlampe beträgt $\approx 5\%$ und die Verlustleistung liegt (Wärme) bei $\approx 95\%$

Zustandsänderung von Gasen

Bei Gasen können sich durch die Veränderung der Temperatur sowohl der Druck als auch das Volumen verändern.

Um diese Zusammenhänge zu beschreiben, wird das Modell des idealen Gases benutzt.

Modell: ideales Gas ... kennzeichnet sich aus durch:

1. Die Teilchen keinen Raum einnehmen und...
2. ... die Stöße mit den Gefäßwänden und den Teilchen untereinander elastisch sind.

Das Modell des idealen Gases ist eine Vereinfachung der Wirklichkeit!

Zustandsänderung von Gasen



Bei abgeschlossenen Gasmengen gibt es verschiedene gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen Druck, Volumen und Temperatur.

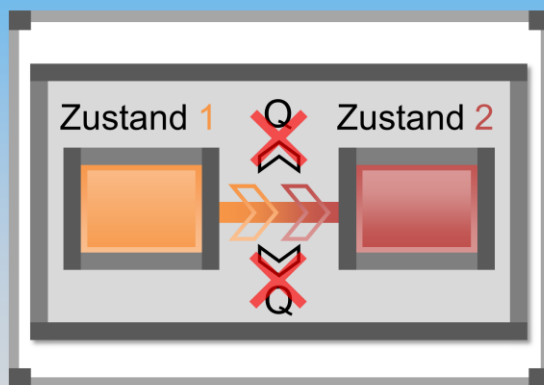
Insgesamt gibt es folgende Gasgesetze:

1. Gesetz von GAY-LUSSAC
2. Gesetz von AMONTONS
3. Gesetz von BOYLE und MARIOTTE

Adiabatische Zustandsänderung



Bei einer adiabatischen Zustandsänderung handelt es sich um einen thermodynamischen Vorgang, bei dem ein System von einem Zustand in einen anderen überführt wird, ohne dabei Wärme (Q) mit seiner Umgebung auszutauschen.



Wird Arbeit (W) an einem ruhenden System verrichtet, verändert sich, laut dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik, die innere Energie (U).

Erster Hauptsatz der Thermodynamik:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Adiabatische Zustandsänderung:

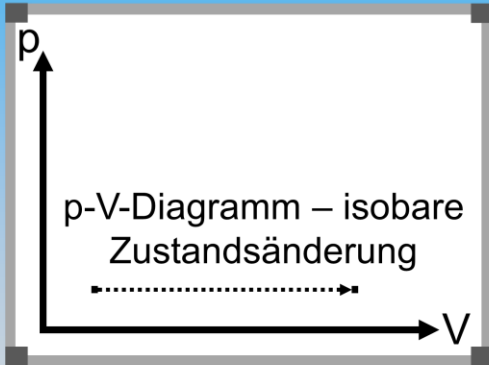
$$\Delta Q = 0 \quad \Delta U = W$$

Der adiabatische Prozess ist eine mehr oder weniger gut realisierte Idealisierung, da sich ein Wärmeübergang theoretisch und praktisch nie vollständig verhindern lässt!

Isobare Zustandsänderung



Bei einer isobaren Zustandsänderung bleibt der Druck im System konstant.



Insgesamt müssen große Wärmemengen zugeführt werden, um ein Gas unter isobaren Verhältnissen auf eine bestimmte Temperatur zu erwärmen...

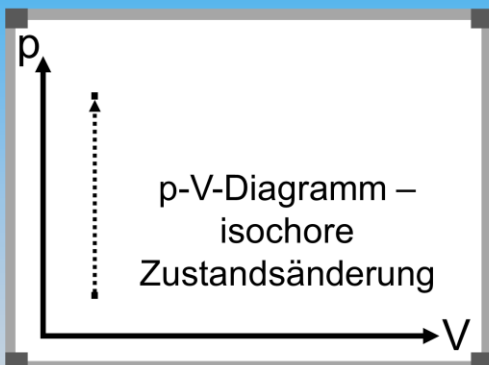
...da für die Ausdehnung des Gases ein Teil der zugeführten Wärme aufgebracht werden muss.

Im p-V-Diagramm weist eine horizontale Linie, auf eine isobare Zustandsänderung hin, da sich nur das Volumen, nicht aber der Druck verändert.

Isochore Zustandsänderung



Bei einer isochoren Zustandsänderung bleibt das Volumen eines Stoffs konstant.



Nach der Zustandsgleichung eines idealen Gases wird keine Arbeit (W) verrichtet, da es zu keiner Volumenänderung kommt!

Durch den ersten Hauptsatz der Thermodynamik geht mit $W=0$, die zugeführte Energie direkt in die innere Energie (U) über.

Erster Hauptsatz der Thermodynamik: Isochore Zustandsänderung:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad \text{-----} \rightarrow \quad \Delta W = 0 \quad \text{---} \rightarrow \quad \Delta U = \Delta Q$$

Im p-V-Diagramm weist eine vertikale Linie auf eine isochore Zustandsänderung hin, da sich nur der Druck, nicht aber das Volumen verändert.

Isotherme Zustandsänderung



Bei einer isothermen Zustandsänderung bleibt die Temperatur unverändert.

Isotherme Zustandsänderung:

$$T = \text{const.} \rightarrow T_1 = T_2$$

Hierbei ist T_1 die Temperatur vor und T_2 die Temperatur nach der Zustandsänderung.



Die Kompressionswärme muss bei der Verdichtung des Gases abgeführt bzw. bei der Expansion zugeführt werden.

Wegen $T_1 = T_2$ ist $\Delta U = 0$. Aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik folgt, dass die zugeführte bzw. entzogene Wärme der verrichtenden Arbeit entspricht.

Erster Hauptsatz der Thermodynamik: Isotherme Zustandsänderung:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow \Delta Q = -W$$

Lebenslauf

Persönliche Daten



Name:	Stefan Pietrusky
Wohnort:	Hintergasse 46a 67150 Niederkirchen Telefon: 06326/1212
Geburtsdatum und -ort:	20.02.1987 in Frankfurt/Oder
Familienstand:	ledig
Staatsangehörigkeit:	deutsch

Beruflicher Werdegang

05/2020 -	Wissenschaftliche Hilfskraft Pädagogische Hochschule Heidelberg
07/2015 -	Online E-Learning Media Entwickler bei Learning Level Up
02/2013 - 06/2015	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Koblenz-Landau, Campus Landau, Institut für Umweltwissenschaften
07/2014 -	Doktorand an der Universität Koblenz- Landau, Campus Landau, Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Schulische und berufliche Ausbildung

04/2020 -	Master of Art Pädagogische Hochschule Heidelberg
10/2011 - 09/2013	Master of Education Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
10/2008 - 09/2011	Bachelor of Education Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
08/2007 - 06/2008	Berufsoberschule II Fachrichtung Sozialwesen
08/2004 - 07/2006	Abschluss Hochschulreife Höhere Berufsfachschule Datenverarbeitung Abschluss Fachhochschulreife

Praktikum

08/2006 - 02/2007

Praktikum im Bereich Datenverarbeitung
in der Regionalen Schule
Deidesheim/Wachenheim

Berufliche Ausbildung

10/2016 - 12/2017

Fernstudium zum Grafiker für PC
Abschluss staatl. geprüfter Grafiker

08/2004 - 07/2006

Ausbildung zum staatlich
geprüften kaufmännischen Assistenten
für Datenverarbeitung an der BBS Bad
Dürkheim
**Abschluss staatl. geprüfter Assistent
für Datenverarbeitung**

Sonstiges

Führerschein:

Klasse B, eigener PKW vorhanden

EDV-Kenntnisse:

sehr gute Kenntnisse im Umgang mit
Office 365, DrawPlus X5 und Audacity,
H5P, Camtasia

Sprachkenntnisse:

Englisch (gut in Wort und Schrift)

Interessen:

Grafikdesign, Sport, Lesen, Reisen,
Videospiele

Unterschrift:



Stefan Pietrusky

Niederkirchen, den 01.06.2020