

# Studien zum Physik- und Chemielernen

M. Hopf und M. Ropohl [Hrsg.]

385

Svenja Boegel

## **Feedback beim Experimentieren: Zur Rolle von Cognitive Load und Motivation**

λογος

# Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

Diese Reihe im Logos Verlag Berlin lädt Forscherinnen und Forscher ein, ihre neuen wissenschaftlichen Studien zum Physik- und Chemielernen im Kontext einer Vielzahl von bereits erschienenen Arbeiten zu quantitativen und qualitativen empirischen Untersuchungen sowie evaluativ begleiteten Konzeptionsentwicklungen zu veröffentlichen. Die in den bisherigen Studien erfassten Themen und Inhalte spiegeln das breite Spektrum der Einflussfaktoren wider, die in den Lehr- und Lernprozessen in Schule und Hochschule wirksam sind.

Die Herausgeber hoffen, mit der Förderung von Publikationen, die sich mit dem Physik- und Chemielernen befassen, einen Beitrag zur weiteren Stabilisierung der physik- und chemiedidaktischen Forschung und zur Verbesserung eines an den Ergebnissen fachdidaktischer Forschung orientierten Unterrichts in den beiden Fächern zu leisten.

Martin Hopf und Mathias Ropohl

*Studien zum Physik- und Chemielernen*

Band 385



Svenja Boegel

**Feedback beim Experimentieren:  
Zur Rolle von Cognitive Load  
und Motivation**

Logos Verlag Berlin



## *Studien zum Physik- und Chemielernen*

Martin Hopf und Mathias Ropohl [Hrsg.]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Logos Verlag Berlin GmbH 2024

ISBN 978-3-8325-5911-3

ISSN 1614-8967

DOI 10.30819/5911

Logos Verlag Berlin GmbH  
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10  
D-12681 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90

Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92

<https://www.logos-verlag.de>

---

**Feedback beim Experimentieren:  
Zur Rolle von Cognitive Load  
und Motivation**

---

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
- Dr. rer. nat. -

vorgelegt von  
**Svenja Boegel**  
geboren in Duisburg

Didaktik der Chemie  
Fakultät für Chemie  
Universität Duisburg-Essen

September 2024

Die vorliegende Arbeit wurde im Zeitraum von April 2022 bis September 2024 in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Mathias Ropohl in der Didaktik der Chemie in der Fakultät für Chemie an der Universität Duisburg-Essen erstellt.

1. Gutachter: Prof. Dr. Mathias Jan Ropohl
  2. Gutachterin: Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter
- Vorsitzender: Prof. Dr. Georg Jansen

Tag der Disputation: 25.11.2024



## **Danksagung**

Zunächst möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich während der Promotion unterstützt und an mich geglaubt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Mathias Ropohl. Lieber Mathias, vielen Dank, dass du mir die Möglichkeit gegeben hast, im Rahmen meiner Promotion über mich hinaus zu wachsen und immer an mich geglaubt hast. Danke für deine ständige Unterstützung und die vielen Ratschläge in den letzten Jahren. Ich war immer gerne ein Teil deiner Arbeitsgruppe.

Ebenfalls danken möchte ich Frau Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter. Neben der Übernahme des Zweitgutachtens möchte ich mich für die vielen anregenden Hinweise und interessanten Diskussionen bei dir bedanken. Außerdem halten deine tollen Fotos die Erlebnisse von der ESERA Summer School 2023 für immer fest!

Ich danke Prof. Dr. Georg Jansen für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Ich möchte mich bei allen Schulen, Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern bedanken, die dazu bereit waren, an meinen Untersuchungen teilzunehmen.

Für die umfangreiche Unterstützung in technischen und organisatorischen Fragen danke ich Christoph Pelka, Herrmann Vielhauer, Tessa de Kok, Melis Gökbor, Janina Schmidt, Katrin Falchi, Aimee Grinda und Vanessa Asowka-Manu.

Allen Kolleginnen und Kollegen an der Schützenbahn möchte ich für eine Promotionszeit danken, die mir für immer in Erinnerung bleiben wird. Die grandiosen Tagungen, Ausflüge, Whisky-Tastings und Weihnachtsfeiern werde ich nie vergessen. Besonders danken möchte ich aber Leonie Willmes und Nathalie Beck! Vielen Dank für die vielen produktiven fachlichen Gespräche und das Korrekturlesen verschiedenster Textprodukte. Ihr hattet immer ein offenes Ohr für mich und habt mich in den stressigen Phasen hervorragend unterstützt. Mit euch gemeinsam zu lachen hat jede noch so schwierige Situation angenehmer gemacht. Außerdem möchte ich Marcus Schiolko für die tolle Bürogemeinschaft danken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, meiner Mutter Astrid Boegel und meinem Vater Udo Boegel, meiner Cousine Simone Wehling und Thilo Schwarz. Danke, dass ihr mich schon immer so intensiv unterstützt habt. Ohne euch hätte ich mein Abitur, Studium oder die Promotion niemals geschafft! Vielen Dank für euren Rückhalt.

Schließlich möchte ich mich bei dem wichtigsten Menschen in meinem Leben bedanken, Simon Kaulhausen. Dass wir uns hier an der Schützenbahn kennen und lieben gelernt haben, war großes Glück. Du glaubst jeden einzelnen Tag an mich und gemeinsam können wir alles erreichen.

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einleitung .....	1
2. Theoretischer Hintergrund.....	5
2.1 Das Experiment in den Naturwissenschaften .....	5
2.1.1 Experimente planen mit der Variablenkontrollstrategie .....	7
2.1.2 Befunde zur Anwendung der Variablenkontrollstrategie .....	8
2.1.3 Befunde zur Förderung der Variablenkontrollstrategie .....	9
2.2 Feedback im Lernprozess .....	10
2.2.1 Formatives Assessment.....	11
2.2.2 Formatives Assessment beim Planen von Experimenten .....	11
2.2.3 Merkmale lernunterstützenden Feedbacks .....	12
2.2.4 Feedback zur Förderung der Variablenkontrollstrategie .....	14
2.3 Theorien kognitiver Belastung.....	18
2.3.1 Cognitive Load Theory .....	19
2.3.2 Cognitive Theory of Multimedia Learning .....	20
2.4 Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation .....	24
2.5 Zusammenführung.....	25
3. Ziel, Forschungsfragen und Hypothesen.....	29
4. Untersuchungsplan.....	33
5. Erste Untersuchung.....	37
5.1 Methodik.....	37
5.1.1 Untersuchungsdesign .....	37
5.1.2 Stichprobe .....	39
5.1.3 Feedback .....	39
5.1.4 Der Forscherbogen zur schriftlichen Experimentplanung .....	44
5.1.5 Bewertungsschema für die Experimentplanung.....	45
5.1.6 Testinstrumente.....	49

5.1.7 Statistische Analysen .....	55
5.1.8 Kategoriensysteme .....	58
5.1.9 Prüfung der Voraussetzungen.....	59
5.2 Ergebnisse.....	60
5.2.1 Kontrollvariablen .....	60
5.2.2 Umgang mit Feedback im Chemieunterricht .....	60
5.2.3 Qualität der Experimentplanung.....	61
5.2.4 Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale .....	64
5.2.5 Einfluss des Feedbacks auf Cognitive Load, Motivation und wahrgenommene Kompetenzunterstützung .....	68
5.2.6 Qualitative Ergebnisse .....	73
5.3 Diskussion .....	76
5.4 Limitationen.....	83
6. Zweite Untersuchung.....	87
6.1 Methodik.....	87
6.1.1 Untersuchungsdesign .....	87
6.1.2 Stichprobe .....	88
6.1.3 Feedback .....	89
6.1.4 Testinstrumente.....	96
6.1.5 Statistische Analysen .....	98
6.1.6 Kategoriensysteme .....	99
6.1.7 Prüfung der Voraussetzungen.....	101
6.2 Ergebnisse.....	102
6.2.1 Kontrollvariablen .....	102
6.2.2 Qualität der Experimentplanung.....	102
6.2.3 Einfluss des Feedbacks auf Cognitive Load, Motivation und wahrgenommene Kompetenzunterstützung .....	106
6.2.4 Mediationsanalysen.....	109

6.2.5 Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale .....	115
6.2.6 Qualitative Ergebnisse .....	116
6.3 Diskussion .....	119
6.4 Limitationen.....	128
7. Dritte Untersuchung.....	131
7.1 Methodik.....	131
7.1.1 Untersuchungsdesign .....	131
7.1.2 Stichprobe .....	133
7.1.3 Testinstrumente .....	133
7.1.4 Statistische Analysen .....	137
7.1.5 Interviews.....	138
7.1.6 Prüfung der Voraussetzungen.....	143
7.2 Ergebnisse.....	146
7.2.1 Kontrollvariablen .....	147
7.2.2 Qualität der Experimentplanung.....	147
7.2.3 Ausprägung des Cognitive Load .....	149
7.2.4 Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments .....	151
7.2.5 Ableitung des Kategoriensystems und das daraus entstandene Kodiermanual für die Interviews .....	156
7.2.6 Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse.....	159
7.3 Diskussion .....	163
7.4 Limitationen.....	167
8. Zusammenfassung.....	169
9. Ausblick .....	173
Literaturverzeichnis .....	179
Tabellenverzeichnis .....	191
Abbildungsverzeichnis.....	195
Anhang .....	197



## 1. Einleitung

Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollen neben konzeptbezogenen auch prozessbezogene Kompetenzen vermittelt werden, damit Schüler:innen eine naturwissenschaftliche Grundbildung ermöglicht wird (KMK, 2005). Zu den prozessbezogenen Kompetenzen gehört die Denk- und Arbeitsweise des Planens und Durchführens von Experimenten (Abd-El-Khalick et al., 2004). Die Ergebnisse der PISA Studie (*Programme for International Student Assessment*) von 2015 zeigen, dass die deutschen Schüler:innen die Teilkompetenz „naturwissenschaftliche Forschung bewerten und Untersuchungen planen“ im Mittel zwar leicht oberhalb des OECD-Durchschnittes erreichen, aber nach wie vor weit von den Mittelwerten der Länder an der Spitze der Studie entfernt sind. Laut einer Befragung von Schüler:innen steht das Planen von Experimenten selten im Fokus des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Reiss et al., 2016). Anhand dieser Befundlage fällt auf, dass das Planen von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht weiter gefördert werden muss. Unterstützend kommt hinzu, dass diese Aktivität in den Kernlehrplänen des Faches Chemie im Bundesland Nordrhein-Westfalen verankert ist. Für die Sekundarstufe I wird im Fach Chemie vorgesehen, dass experimentelle Untersuchungen geplant, durchgeführt und ausgewertet werden (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Weiterführend wird im Rahmen des Kernlehrplans der Sekundarstufe II im Fach Chemie das Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie explizit als zu vermittelnde Kompetenz aufgelistet (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022). Die Anwendung der Variablenkontrollstrategie ist notwendig, um mit Hilfe eines Experiments kausale Zusammenhänge untersuchen zu können. Schüler:innen stehen jedoch bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie vor Herausforderungen. Sie tendieren dazu, lediglich den Einfluss einer Ausprägung der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable zu untersuchen. Zusätzlich werden die Ausprägungen der unabhängigen Variablen, wenn sie variiert werden, häufig unsystematisch variiert. In den meisten Fällen findet die Variation der unabhängigen Variable zusätzlich unter unkontrollierten Bedingungen statt, da Störvariablen nicht konstant gehalten werden. Häufig werden keinerlei Messgeräte genutzt oder ohne festgelegte Messzeit verwendet. Außerdem wird die Planung eines Kontrollansatzes oftmals vernachlässigt (Hammann et al., 2006; Ropohl & Scheuermann, 2017; Siler & Klahr, 2012). In diversen Untersuchungen wurden daher Formen der Lernunterstützung bei der Planung von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Lernerfolg analysiert (Hild et al., 2020; Ropohl & Scheuermann, 2018; Scheuermann, 2017; Wollenschläger, 2012; Wollenschläger et al., 2011, 2012).

## 1. Einleitung

Der Einsatz von Feedback wurde in diesen Studien als äußerst effektive Lernunterstützung herausgestellt, was bereits von Hattie und Timperley (2007) für den allgemeinen Bildungskontext bestätigt wurde. Die Ergebnisse der PISA Studie aus dem Jahr 2015 zeigen jedoch auf, dass Feedback, als ein wichtiges Unterrichtsqualitätsmerkmal, nur selten gegeben wird (Kleickmann et al., 2020; Reiss et al., 2016). In dieser Kategorie liegt Deutschland unterhalb des OECD-Durchschnittes (Reiss et al., 2016). Auch Fraser et al. (1987), Scheerens und Bosker (1997) sowie Seidel und Shavelson (2007) weisen auf die Notwendigkeit von regulierenden und überwachenden Funktionen beim Lehren und Lernen hin, die durch das Geben und Erhalten von Feedback erreicht werden können. Für den naturwissenschaftlichen Unterricht bestätigen Forbes et al. (2020) die Wichtigkeit von Feedback als eine sichtbare Facette effektiven Lehrens und Lernens. Die Untersuchungen von Hild et al. (2020), Scheuermann (2017) sowie Wolenschläger et al. (2011, 2012) legen nahe, dass Feedback, speziell beim naturwissenschaftlichen Lernen, einen erheblichen Einfluss auf den Lernerfolg hat. Allerdings sind Situationen, in denen Feedback eingesetzt wird, um Experimente unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie zu planen, für Schüler:innen herausfordernd. In so einem Lernszenario müssen die Schüler:innen verschiedenste Informationen verarbeiten und miteinander verknüpfen, was eine kognitiv anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Auswirkungen von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale wie Cognitive Load, Motivation aber auch die wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu untersuchen. Bisher wurden in früheren Studien hauptsächlich Variationen inhaltlicher Feedbackmerkmale untersucht und abgeleitet, dass Feedback stark differentiell wirkt. Daher besteht ein besonderes Interesse darin, zu untersuchen, wie sich vor allem die konkrete Gestaltung auf diverse kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale auswirkt. Im Rahmen der ersten Untersuchung dieses Projektes wurden zunächst als unterstützend wahrgenommene Feedbackmerkmale aus den Bereichen Gestaltung und Inhalt beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie untersucht. Basierend auf den Ergebnissen von Ropohl und Scheuermann (2018) wurde Feedback zur Förderung der Anwendung der Variablenkontrollstrategie, das sich durch eine weiterentwickelte inhaltliche aber vor allem gestalterische Aufbereitung auszeichnet, im Chemieunterricht eingesetzt und evaluiert. Zudem wurde in vorangegangenen Studien der Einfluss von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale wie den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung untersucht und diskutiert. Die Befundlage in diesem Forschungsbereich ist nicht eindeutig. Im Rahmen der zweiten Untersuchung des Projektes wurden die Gestaltungsprinzipien der Cognitive Theory of Multimedia Learning für das Ausstellen von Feedback genutzt. Die Theorie von



Mayer (2001) stellt die Effektivität von Lernmaterial, bestehend aus einer Kombination von textlichen und bildlichen Informationsdarbietungen, in den Mittelpunkt. Diverse Studien belegen die Lernunterstützung von Material, welches sich an diesen Gestaltungsprinzipien orientiert. Basierend darauf wurden in der zweiten Untersuchung verschiedene Feedbackversionen, bestehend aus nur textlichen, nur bildlichen oder textlichen und bildlichen Informationen, hinsichtlich des Effekts auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale sowie auf den Lernerfolg verglichen. Da sich das Feedback, bestehend aus einer Kombination aus textlichen und bildlichen Informationen, im Rahmen der zweiten Untersuchung als besonders unterstützend herausgestellt hat, wurde dieses in einer dritten Untersuchung weitergehend analysiert. Hierbei lag der Fokus auf der Untersuchung der Ausprägung von fachspezifischen Kompetenzen hinsichtlich des Planens eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie sowie des Cognitive Load im Verlauf der Lerngelegenheit. Abschließend wurde die Reflexionsfähigkeit der Schüler:innen hinsichtlich der Merkmale der Variablenkontrollstrategie bei der Experimentplanung sowie die Aufbereitung des Feedbacks, bestehend aus einer Kombination aus textlichen und bildlichen Informationen, tiefergehend in Interviews untersucht.



### **2. Theoretischer Hintergrund**

Zunächst wird im theoretischen Hintergrund der Prozess der Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht dargelegt. Hierbei wird im Besonderen auf die naturwissenschaftliche Arbeitsweise des Experimentierens unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie eingegangen. Anschließend werden die bereits bekannten Herausforderungen der Schüler:innen beim experimentellen Anwenden der Variablenkontrollstrategie beschrieben. Im Anschluss daran wird die Unterstützungsmethode des lernbegleitenden Feedbacks erklärt. Dieses wird in den Prozess formativen Assessments eingeordnet und in seiner Lernwirksamkeit weitergehend erläutert. Daran anknüpfend werden Merkmale lernunterstützenden Feedbacks aufgeführt und Feedback als Methode zur Förderung der Variablenkontrollstrategie anhand vorangegangener empirischer Studien vorgestellt. Abschließend werden anhand Theorien kognitiver Belastung und der Selbstbestimmungstheorie der Motivation Bezüge zum Lernen mit Feedback hergestellt.

#### **2.1 Das Experiment in den Naturwissenschaften**

Im Rahmen des Prozesses der Erkenntnisgewinnung werden mit Hilfe des Anwendens naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen neue Erkenntnisse gewonnen. Den Arbeitsweisen kann somit eine gleichermaßen hohe Bedeutung zugeschrieben werden wie dem Prozess der Erkenntnisgewinnung selbst (Flick & Lederman, 2006; NRC, 2012; Osborne et al., 2003).

Um das Erlangen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung der Schüler:innen sicherzustellen, gilt es im Unterricht nicht nur fachspezifisches, sondern auch prozedurales Wissen, also Wissen über die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen, zu vermitteln (NRC, 2012).

In der Literatur werden unterschiedliche Kontexte beschrieben, in denen der Prozess der Erkenntnisgewinnung stattfinden kann. So werden der Kontext des Handlungsfeldes der Naturwissenschaftler:innen, des Handlungsfeldes der Schüler:innen im naturwissenschaftlichen Unterricht, der Unterrichtskonzeption und der Unterrichtsmaterialien definiert (Furtak et al., 2012). Da die vorliegende Arbeit den Fokus auf den Kontext des Handlungsfeldes der Schüler:innen im naturwissenschaftlichen Unterricht legt, werden diese spezifischen Arbeitsweisen im Folgenden beschrieben. Rönnebeck et al. (2016) leiten aus der Theorie neun Arbeitsweisen ab: (1) Forschungsfragen formulieren, (2) Informationen recherchieren, (3) Hypothesen aufstellen, (4) Planen und Durchführen von Experimenten, (5) Analysieren und Interpretieren der gewonnenen Daten, (6) Ergebnisse erklären, (7) Modelle konstruieren, (8) Argumentation und

## 2. Theoretischer Hintergrund

Begründung mit Bezug auf Forschungsfragen und Hypothese, (9) Kommunikation während des Prozesses (Rönnebeck et al., 2016).

In der Phase der Vorbereitung (siehe Abbildung 1) beginnt mit dem Formulieren von Forschungsfragen und dem Aufstellen von Hypothesen der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, in dem es gilt, z. B. mittels eines Experimentes diese Forschungsfragen zu überprüfen und Antworten auf die Hypothesen zu generieren (Schulz et al., 2012).

Beim Experimentieren, welches das Planen und Durchführen von Experimenten in der Phase der Durchführung umfasst, wird zwischen einer explorativen und konfirmatorischen Funktion unterschieden. Wird ein Experiment im explorativen Sinne geplant und durchgeführt, so liegt im Vorfeld keine Hypothese über den Einfluss einer unabhängigen auf eine abhängige Variable vor. Somit werden im Rahmen eines explorativen Experimentes sowohl relevante als auch irrelevante Variablen identifiziert, die einen Einfluss auf die abhängige Variable nehmen. Im Vergleich dazu steht das konfirmatorische Experiment. Dieses zeichnet sich durch das Überprüfen einer im Vorfeld festgelegten Hypothese aus. Hierbei wird der Einfluss einer konkreten unabhängigen Variable auf die abhängige Variable untersucht. Die Hypothese wird basierend auf diesen Daten verifiziert oder falsifiziert. Ebenezer et al. (2011) stellen heraus, dass das Planen und Durchführen von Experimenten meint, dass Schüler:innen Methoden und Verfahren für das Experimentieren logisch darlegen, geeignete Messgeräte verwenden, Sicherheitsvorkehrungen beachten und eine ausreichende Anzahl an Wiederholungsversuchen durchführen sollen, um die ermittelten Ergebnisse zu validieren. Unabhängig davon, ob ein exploratives oder konfirmatorisches Experiment geplant und durchgeführt wird, muss die Variablenkontrollstrategie angewendet werden. Die Anwendung der Variablenkontrollstrategie ermöglicht, dass mit Hilfe der gewonnenen Daten eindeutige kausale Zusammenhänge analysiert und interpretiert werden können, womit die Phase der Durchführung abgeschlossen ist (Chen & Klahr, 1999; Schulz et al., 2012). Abschließend erfolgt in der Phase der Auswertung das Erklären von Ergebnissen, das Konstruieren von Modellen und das Argumentieren und Begründen mit Bezug auf Forschungsfrage und Hypothese.

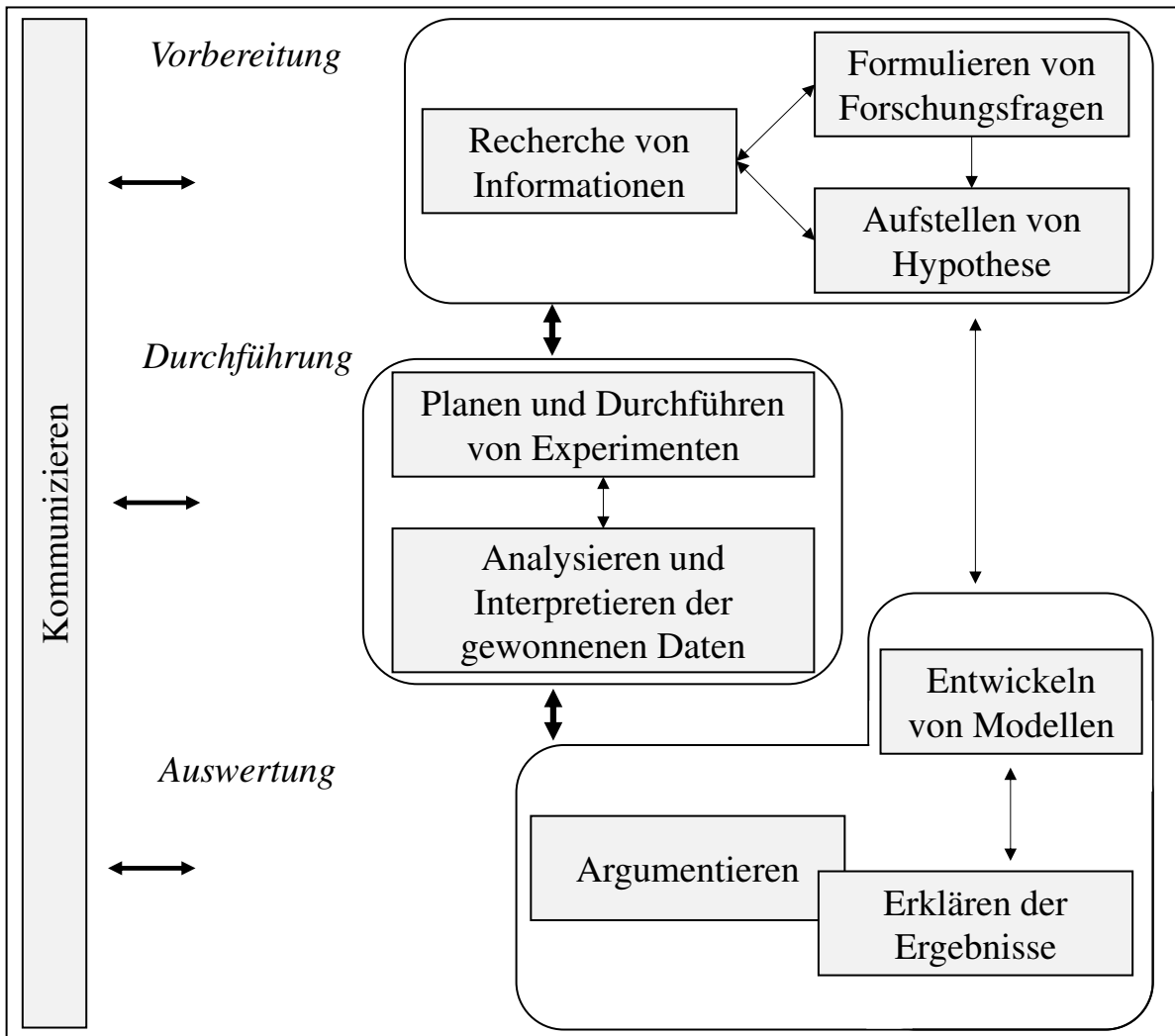


Abbildung 1: Die neun Arbeitsweisen nach Rönnebeck et al. (2016)

Die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen eines Experiments wird im Folgenden erklärt.

### 2.1.1 Experimente planen mit der Variablenkontrollstrategie

Die naturwissenschaftliche Arbeitsweise des Planens und Durchführens eines Experiments (siehe Abbildung 1) erfordert die Anwendung der Variablenkontrollstrategie, um mit Hilfe der gewonnenen Daten kausale Zusammenhänge herstellen zu können. Die Variablenkontrollstrategie wird genutzt, um den Einfluss einer unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable unter kontrollierten Bedingungen zu messen. Hierbei wird die abhängige Variable unter Festlegung von Messzeiten gemessen. Die unabhängige Variable wird spezifiziert und variiert. Durch das Konstanthalten von Störvariablen werden kontrollierte Bedingungen geschaffen. Mit Hilfe des Durchführens von Wiederholungs- und Kontrollexperimenten wird die Aussagekraft der generierten Daten gesichert (Chen & Klahr, 1999; Ross, 1988).

## 2. Theoretischer Hintergrund

Um die Anwendung der Variablenkontrollstrategie in einem Experiment zu verdeutlichen, kann das Pendelbeispiel von Piaget und Inhelder (1958) angeführt werden. In diesem Beispiel wird der Einfluss der Pendellänge auf die Schwingdauer überprüft. Die Pendellänge stellt hier die unabhängige Variable dar, die in ihren Ausprägungen variiert werden muss. Die Masse der Pendelkugel, das Material des Pendelfadens und das Material der Pendelkugel werden als Störvariablen konstant gehalten. Somit werden kontrollierte Bedingungen generiert, um den Einfluss der Pendellänge auf die Schwingungsdauer zu messen (Piaget & Inhelder, 1958).

Die Variablenkontrollstrategie sollte bereits beim Planen eines Experimentes berücksichtigt werden. Dies führt zu einer strukturierteren Durchführung (Arnold et al., 2014). Arnold et al. (2014) haben für die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Experimentieren fünf Merkmale definiert: (1) Messung der abhängigen Variable, (2) Spezifizierung und Variation der unabhängigen Variable, (3) Konstanthalten von Störvariablen, (4) Festlegung von Messzeiten und (5) Durchführung von Wiederholungen (Arnold et al., 2014). Die fünf Merkmale des Experimentierens unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie können gut begründet werden. Durch das Benennen und Messen der abhängigen Variable wird eine Operationalisierung gewählt, die sicherstellt, dass das gemessen wird, was gemessen werden soll (Validität) und dies zudem zuverlässig (Reliabilität) und für jeden verständlich (Objektivität). Die Spezifizierung und Variation der unabhängigen Variable stellt sicher, dass durch Angabe von qualitativen und quantitativen Merkmalen ebenfalls die drei Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität gewährleistet werden. Mittels Konstanthalten von Störvariablen werden kontrollierte Bedingungen erzeugt, die sicherstellen, dass genau das gemessen wird, was gemessen werden soll. Außerdem werden dadurch Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit erhöht. Damit eindeutig belastbare Ergebnisse generiert werden, ist es notwendig, dass Experimente mehrmals durchgeführt werden. Hierbei gilt es, das Hauptexperiment sowohl unverändert als auch leicht verändert durchzuführen (Arnold, 2015). Viele Studien zeigen, dass Schüler:innen vor große Herausforderungen gestellt werden, wenn Experimente unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geplant werden. Im Folgenden werden diese Herausforderungen erläutert.

### **2.1.2 Befunde zur Anwendung der Variablenkontrollstrategie**

Hamman et al. (2006) sowie Siler und Klahr (2012) konnten bereits einige Herausforderungen aufdecken. Wie zuvor beschrieben, ist der systematische Umgang mit Variablen ein wichtiges Merkmal der Variablenkontrollstrategie. Hierbei muss zwischen der abhängigen und der unabhängigen Variable unterschieden werden.

Diese Unterscheidung treffen Schüler:innen nicht immer. Häufig kommt es dazu, dass die Variablen falsch zugeordnet und somit auch die falsche Variable variiert wird. Zudem tendieren Schüler:innen dazu, dass alle Variablen variiert werden, was dazu führt, dass aufgrund unkontrollierter Bedingungen keine eindeutigen Aussagen generiert werden können. Durch das Konstanthalten von Störvariablen werden kontrollierte Bedingungen für ein Experiment geschaffen. Viele Schüler:innen tendieren jedoch dazu, diese nicht konstant zu halten und teilweise sogar zu variieren. Außerdem wurde bereits gezeigt, dass Schüler:innen häufig kein Messinstrument zur Messung der abhängigen Variable einsetzen. Wird jedoch ein Messinstrument eingesetzt, wird dieses in der Regel ohne eine festgelegte Messzeit genutzt. Zur vollständigen Planung eines Experiments gehört das Einbeziehen eines geeigneten Kontrollansatzes. Häufig wird dieser aber vernachlässigt, was zu einem methodisch schwach geplanten Experiment führt. Schüler:innen muss verdeutlicht werden, dass eine experimentelle Kontrolle notwendig ist, da mit Hilfe eines Experiments die Ursachen beobachteter Wirkungen erklärt werden sollen (Arnold et al., 2014; Hammann et al., 2006; Scheuermann, 2017; Siler & Klahr, 2012).

Diese Befunde zeigen, dass Schüler:innen vor große Herausforderungen gestellt werden, wenn Experimente unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geplant werden müssen und dass eine Form von Lernunterstützung notwendig ist. Im Folgenden werden Maßnahmen zur Förderung der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie vorgestellt.

### **2.1.3 Befunde zur Förderung der Variablenkontrollstrategie**

Durch die zuvor aufgezeigten Herausforderungen bei der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie wird deutlich, dass Maßnahmen zur Lernunterstützung notwendig sind. Zentrale Anhaltspunkte hinsichtlich der Möglichkeiten zur Förderung der Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Experimentplanen bieten die Meta-Analysen von Ross (1988) und Schwichow et al. (2016).

Die Meta-Analyse von Schwichow et al. (2016) berücksichtigt 72 Interventionsstudien aus den Jahren 1972 bis 2012. Da für Unterstützungsmaßnahmen eine Effektstärke von  $g = .61$  (95 % KI = .53-.69) gezeigt werden kann, ist die Schlussfolgerung passend, dass die Anwendung der Variablenkontrollstrategie allgemein mit Hilfe von Unterstützungsmaßnahmen gefördert werden kann. Die Maßnahme mit der höchsten Lernwirksamkeit ist das Auslösen eines kognitiven Konfliktes hinsichtlich der Variablenkontrollstrategie ( $g = .80$ , 95 % KI = .62-.98). Dieser Befund beruht darauf, dass Schüler:innen mit einem Experiment konfrontiert werden, bei welchem die unabhängige Variable nicht oder lediglich unter unkontrollierten Bedingungen variiert wird.

## 2. Theoretischer Hintergrund

Schüler:innen stellen die passende Schlussfolgerung auf, dass mit diesen Experimenten keine eindeutigen Aussagen bezüglich Fragestellung und Hypothese generiert werden können. Eine weitere lernwirksame Maßnahme ist das Durchführen eines Demonstrationsexperiments, bei welchem die korrekte Anwendung der Variablenkontrollstrategie dargestellt wird ( $g = .69$ , 95% KI = .57-.81). Die Meta-Analyse von Schwichow et al. (2016) zeigt im Vergleich zu den Befunden von Ross (1988) keine signifikanten Effekte für die explizite verglichen mit der impliziten Instruktion. Für beide Instruktionsformen ist ein positiver Einfluss auf die Anwendung der Variablenkontrollstrategie zu verzeichnen (explizit:  $g = .58$ , 95% KI = .46-.70, implizit:  $g = .65$ , 95% KI = .51-.79). Des Weiteren konnte kein signifikanter Effekt von Interventionen mit Feedback im Vergleich zu Interventionen ohne Feedback festgestellt werden (Feedback:  $g = .66$ , 95% KI = .48-.84, kein Feedback:  $g = .58$ , 95% KI = .48-.68). In der Meta-Analyse von Ross (1988) konnte widersprechend dazu eine große Effektstärke für die Arbeit mit Feedback gezeigt werden ( $d = 1.20$ ). Es ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der Meta-Analyse von Schwichow et al. (2016) hinsichtlich der Befunde zu lernbegleitendem Feedback widersprüchlich zur allgemeinen Lernwirksamkeit, wie etwa von Hattie (2009) ( $d = .73$ ) analysiert, sind. Im Rahmen der Meta-Analyse von Schwichow et al. (2016) wurde lediglich berücksichtigt, ob den Lernenden im Feedback rückgemeldet wurde, wie eine Aufgabe, in der es um die Anwendung der Variablenkontrollstrategie geht, zu lösen ist. Die Gestaltung des jeweiligen Feedbacks wurde nicht berücksichtigt.

Im Folgenden wird lernbegleitendes Feedback in den Prozess des formativen Assessments eingeordnet und die Merkmale lernunterstützenden Feedbacks, getrennt nach dem rückgemeldeten Inhalt und der gestalterischen Umsetzung von Feedbackinformationen, beschrieben.

### 2.2 Feedback im Lernprozess

Feedback soll Informationen über das Lernziel, den Lernstand und die nächsten zu gehenden Schritte im Lernprozess enthalten. Dabei müssen der Lernstand und die nächsten Schritte in Bezug zum Lernziel gesetzt werden. Damit dies gelingt, muss zunächst der Lernstand der Schüler:innen unter Betrachtung des Lernziels diagnostiziert werden (Ramaprasad, 1983). Den Prozess der Diagnose in Kombination mit lernbegleitendem Feedback wird unter dem Begriff des formativen Assessments eingeordnet (Black & Wiliam, 1998). Die Charakteristika formativen Assessments und die Rolle von Feedback werden im Folgenden näher erläutert (Black & Wiliam, 1998; Ropohl & von Aufschnaiter, 2021).



### 2.2.1 Formatives Assessment

Formatives Assessment wird im Sinne konstruktiver Unterstützung als Merkmal von Unterrichtsqualität umgesetzt. Formatives Assessment verfolgt das Ziel, die Schüler:innen während des Lernprozesses beim Lernen zu unterstützen. Die Schüler:innen haben hier die Chance, ihren Lernstand im Verlauf des Lernprozesses anzupassen (Black & Wiliam, 1998; Ropohl & von Aufschnaiter, 2021). Ropohl und von Aufschnaiter (2021) schlagen sieben Schritte in einem zyklischen Prozess vor. Zunächst wird ein konkretes Lernziel festgelegt, welches von den Schüler:innen erreicht werden soll. Danach wird eine Aufgabe erstellt, oder ausgewählt, mit welcher die angestrebte Kompetenz erfasst werden kann. Daran anschließend werden die konkrete Erfassung und Sammlung von Daten festgelegt. Folgend werden die Daten ausgewählt, die zu dem im ersten Schritt festgelegten Lernziel passen. Danach werden die Daten interpretiert und die nächsten Schritte des Lernens abgeleitet. Abschließend kann die Lernunterstützung, mit welcher das Erreichen des Lernziels unterstützt werden soll, festgelegt werden. Diese Lernunterstützung kann in Form von lernbegleitendem Feedback realisiert werden (Ropohl & von Aufschnaiter, 2021). Scheuermann (2017) hat diesen Ablauf des Prozesses formativen Assessments bereits für das Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (siehe Abbildung 2) ausformuliert, was im Folgenden erläutert wird.

### 2.2.2 Formatives Assessment beim Planen von Experimenten

Innerhalb der konkreten Lernsituation stellt die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen eines Experimentes das Lernziel dar. Der Erwerb dieser Kompetenz ist sowohl in den Bildungsstandards für Chemie (KMK, 2005) als auch im Kernlehrplan für den Chemieunterricht verankert (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019, 2022). Als Aufgabe zur Erhebung der notwendigen Daten bietet sich eine schriftliche Experimentplanung der Schüler:innen an. Diese soll auf einem vorbereiteten Forscherbogen notiert werden. Die Auswahl passender Daten wird anhand der Bewertung der Experimentplanung mit Hilfe eines Kriterienrasters realisiert. Für die Interpretation werden die Daten mit typischen Fehlern beim Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie abgeglichen. Im Anschluss daran wird das erneute Planen eines Experiments als nächsten zu gehenden Lernschritt abgeleitet. Die Lernunterstützung wird in Form von lernbegleitendem Feedback, mit Informationen über die Lernziele, den Lernstand und die nächsten Schritte, realisiert. Der Prozess kann so oft wiederholt werden, bis das Lernziel in vollem Umfang erreicht wird (Scheuermann, 2017).

## 2. Theoretischer Hintergrund

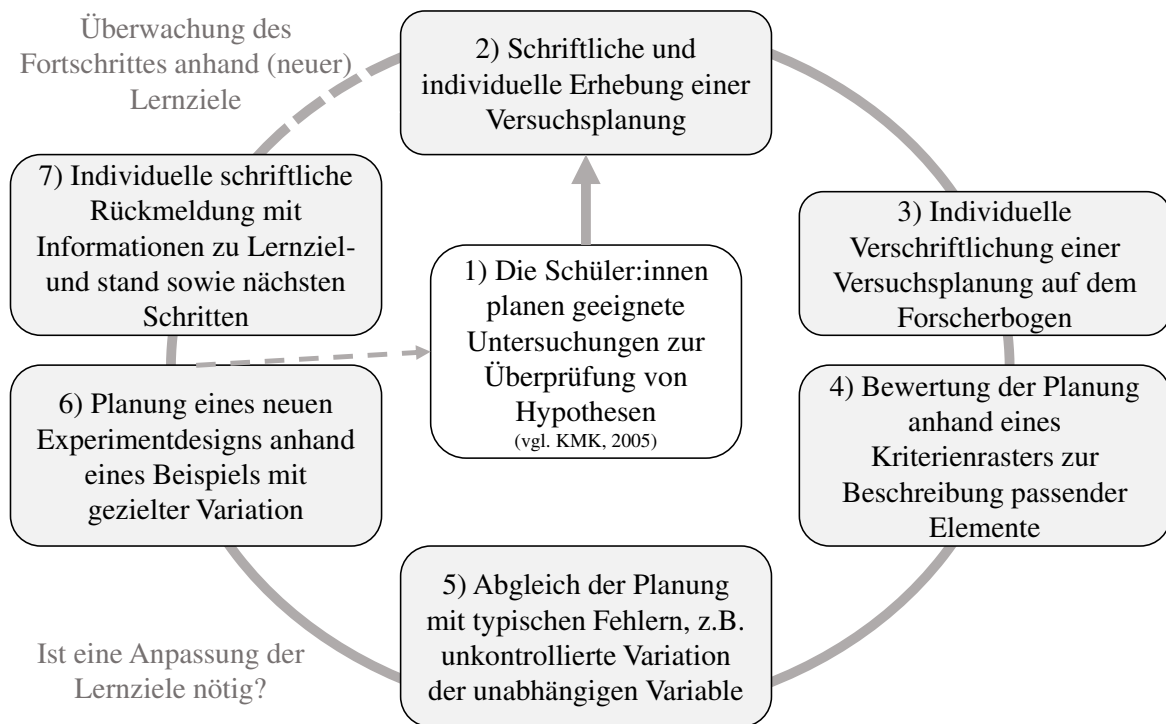


Abbildung 2: Prozess formativen Assessments am Beispiel des Planens eines Experiments (Ropohl & von Aufschnaiter, 2021; Scheuermann, 2017)

Wie das Feedback realisiert werden kann, wird im Folgenden zunächst allgemein und anschließend mit Bezug zum Erlernen der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten beschrieben.

### 2.2.3 Merkmale lernunterstützenden Feedbacks

Verschiedene Meta-Analysen haben die grundsätzliche Wirksamkeit und Unterstützung von Feedback beim Lernen nachgewiesen (Bangert-Drowns et al., 1991; Hattie, 2009; Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008). Diese Analysen führen auf, dass die Informationen zum Lernstand und zu den nächsten Schritten auf unterschiedliche Weise gestalterisch und inhaltlich umgesetzt werden können, wodurch die Wirkung des Feedbacks auf den Lernprozess potenziell variieren kann (Shute, 2008). Unter gestalterischen Merkmalen werden formale Kriterien für Feedback verstanden; inhaltliche Merkmale beziehen sich hingegen auf die Art der bereitgestellten Informationen (Narciss & Huth, 2004; Shute, 2008). Narciss und Huth (2004) sowie Shute (2008) haben betont, dass gestalterische und inhaltliche Aspekte des Feedbacks entscheidend für ein zielgerichtetes Lernen mit Feedback sind.

Hinsichtlich der gestalterischen Merkmale haben Biber et al. (2011) und Shute (2008) herausgefunden, dass schriftliches Feedback effektiver ist als mündliches. Obwohl Wisniewski et al. (2020) diesen Befund in ihrer Meta-Analyse nicht verallgemeinern

## 2. Theoretischer Hintergrund

konnten, ist es wichtig, dieses gestalterische Merkmal auf Grund unterrichtlicher Gegebenheiten weiter in den Fokus zu stellen. Ein weiteres gestalterisches Merkmal ist der Umfang der Feedbackinformationen. Die Menge der bereitgestellten Informationen muss angemessen zur Aufgabe sein und darf weder zu knapp noch zu umfangreich ausfallen (Behnke, 2016; Shute, 2008; Wisniewski et al., 2020). Darüber hinaus ist die Feedbackrichtung ein gestalterisches Merkmal. Um eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Feedback zu fördern, sollten die Schüler:innen von einer feedbackgebenden Person immer direkt und persönlich angesprochen werden. Außerdem sollte das Feedback sprachlich verständlich sein. Dieses Merkmal hängt indirekt mit der Informationsdichte zusammen (Shute, 2008). Aus den Ergebnissen der Meta-Analysen von Bangert-Drowns et al. (1991) sowie Kluger und DeNisi (1996) geht hervor, dass das Feedback einen konkreten Bezug zur bearbeiteten Aufgabe herstellen und für falsche Antworten die richtige Lösung aufzeigen muss, um eine hohe Lernwirksamkeit zu erzielen. Die Darstellung der richtigen Lösung kann unter anderem mithilfe geeigneter Beispiele erfolgen, die zeigen, wie die nächsten Schritte umgesetzt werden können. Für die inhaltlich wirksame Umsetzung des Feedbacks können die drei von Hattie und Timperley (2007) formulierten Fragen, die im Prozess formativen Assessments beantwortet werden müssen und gleichzeitig eine Strukturierung der Feedbackinformationen darstellen, als Leitfaden dienen: „Wo stehe ich? (Was sind die Ziele?), Wie komme ich voran? (Welcher Fortschritt wird in Richtung des Ziels gemacht?) und Was kommt als nächstes? (Welche Aktivitäten müssen unternommen werden, um bessere Fortschritte zu erzielen?)“ (Hattie & Timperley, 2007, S. 86). Ein weiteres wichtiges inhaltliches Merkmal ist die positive Bestärkung der feedbackerhaltenden Person durch die Beantwortung der drei Feedbackfragen (Pekrun, 2006; Wisniewski et al., 2020). Die Einteilung unterstützender Feedbackmerkmale in *Gestaltung* und *Inhalt* ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht zu gestalterischen und inhaltlichen Merkmalen von Feedback

Gestaltung	Inhalt
Schriftliches Feedback	Informationen zum Lernziel
Adäquater Informationsumfang	Informationen zum Lernstand
Direkte und persönliche Ansprache des Adressaten	Hinweise zu nächsten Schritten
Direkter Aufgabenbezug	Positive Bestärkung
Sprachliche Verständlichkeit	
Anschauliche Beispiele zur Umsetzung nächster Schritte und Verbesserung von Fehlern	

## 2. Theoretischer Hintergrund

Die Abgrenzung eines jeden Merkmals ist nicht immer eindeutig. Ein Beispiel hierfür ist das inhaltliche Merkmal des Nutzens anschaulicher Beispiele zur Umsetzung nächster Schritte und Verbesserung von Fehlern. Die Umsetzung gestalterischer Kriterien, wie beispielsweise das Nutzen von Beispielen, geht mit der inhaltlichen Verschriftlichung dieser Beispiele im Rahmen der Hinweise zu den nächsten Schritten einher. Die Kombination der Feedbackmerkmale führt zu verschiedenen Feedbackversionen, die unterschiedlich wirken. Auch die Benennung von eingesetzten Feedbackversionen unterschiedlicher Studien ist nicht standardisiert. Häufig wurde eine Variation gleicher Merkmale vorgenommen, was aus der Benennung des Feedbacks nicht hervorgeht. Es muss immer erst eine Prüfung der Feedbackbedingungen vorgenommen werden, was die Art und Weise der Umsetzung von Feedbackmerkmalen einschließt, um Ergebnisse vergleichen zu können. Es ist weiterführend wichtig, empirisch zu klären, welche Merkmale in welcher Situation kombiniert werden sollten, um die bestmögliche und intendierte Wirkung zu erzielen. Im Folgenden werden vier relevante Studien vorgestellt, die Feedback zur Förderung der Variablenkontrollstrategie im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt haben.

### 2.2.4 Feedback zur Förderung der Variablenkontrollstrategie

Der Aufbau fachspezifischer Kompetenzen beim Experimentieren durch Feedback wurde in verschiedenen Studien analysiert. Die Studien von Wollenschläger et al. (2011, 2012), Ropohl und Scheuermann (2018) sowie Hild et al. (2020) liefern wichtige Befunde für die Wirkung von Feedback als Lernunterstützung beim Experimentieren unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie. Die drei Studien kontrastieren jeweils unterschiedliche Formen von Feedback (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Überblick über relevante Studien

	Wollenschläger, Möller und Harms (2011)	Wollenschläger, Möller und Harms (2012)	Ropohl und Scheuermann (2018)	Hild, Buff, Gut und Parchmann (2020)
Probanden	$N = 38$	$N = 50$	$N = 234$	$N = 149$
Alter/Jahrgangsstufe	$M = 14,6$ Klasse 8	$M = 14,6$ Klasse 8	$M = 13,6$ Klasse 8	$M = 13,$ Klasse 7
Anzahl Bedingungen	2	2	3	4
Kontrast	kompetenz- elle Rückmel- dung vs. keine Rückmeldung	Fremdfeed- back vs. Selbstfeed- back	lösungspro- zessbezogene oder lern- standbezogene	rückmeldende oder hinweis- gebende Rückmeldung

## 2. Theoretischer Hintergrund

			Rückmeldung oder Selbst- einschätzung	oder beides vs. keine Rück- meldung
Fach	Biologie	Biologie	Chemie	Chemie
Thema	n.A.	n.A.	Chemische Reaktionen von Metallen	n.A.
Arbeitsweise	Planen eines Experiments	Planen eines Experiments	Planen eines Experiments	Effektbasiertes Vergleichen
Format der Rückmeldung	Schriftlich (Rückmelde- bogen zum Ankreuzen)	Schriftlich (Rückmelde- bogen zum Ankreuzen)	Schriftlich (Rückmelde- bogen in Text- form)	Schriftlich (Infokarten)
Zeitpunkt der Rückmeldung	Je 1 Rückmel- dung zu 5 Aufgaben nach deren Bearbeitung (1 Zeitpunkt)	Je 1 Rückmel- dung zu 2 Aufgaben nach deren Bearbeitung (1 Zeitpunkt)	Je 1 Rückmel- dung zu 3 Aufgaben nach deren Bearbeitung (3 Zeitpunkte)	Je 1 Rückmel- dung zu 2 Aufgaben (2 Zeitpunkte)
Inhalt der Rückmeldung	Güte der Bear- beitung von Aufgaben (5 Niveaustu- fen)	Güte der Bear- beitung von Aufgaben (5 Niveaustu- fen)	Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu nächs- ten Schritten	Güte der Bear- beitung von Aufgaben (4 Qualitätsstan- dards)
Umfang der Rückmeldung	Abhängig von Bedingung; max. 5 Sätze (je 1 Satz zu jedem von 5 Merkmalen)	Abhängig von Bedingung; max. 5 Sätze (je 1 Satz zu jedem von 5 Merkmalen)	Abhängig von Bedingung; bis zu 1 DIN A4-Blatt	Abhängig von Bedingung; 1,2, oder 4 Sätze auf Spielkarte
Anzahl Krite- rien/Qualitäts- stufen	5 Kriterien; 5 Kompetenz- stufen	5 Kriterien; 5 Kompetenz- stufen	20 Merkmale (je 0 bis 2 Punkte); 5 Qualitäts- standards	10 Merkmale (je 0 bis 1 Punkt); 4 Qualitäts- standards
Abhängige Variable(n)	Planen von Experimenten; Motivation	Planen von Experimenten; wahrgenom- mene Unter- stützung	Planen von Experimenten; wahrgenom- mene Kompe- tenzunterstüt- zung	Experimen- telle Kompe- tenz

## 2. Theoretischer Hintergrund

In der experimentellen Interventionsstudie von Wollenschläger et al. (2011) wird der Effekt einer kompetenziellen Rückmeldung auf die Performanz und die Motivation untersucht. Eine Gruppe, die keine Rückmeldung erhält, dient als Referenz. Den Schüler:innen wird anhand von fünf Kompetenzstufen zum Planen eines Experiments schriftlich rückgemeldet, was ihr Lernstand ist. Die nicht angekreuzten Kompetenzstufen werden als die nächsten Schritte betrachtet. Wollenschläger et al. (2011) kommen zu dem Ergebnis, dass Lernende, die die kompetenzielle Rückmeldung erhalten haben, eine höhere Performanz aufweisen als Lernende, die keine Rückmeldung erhalten haben, was mit den Ergebnissen von Ropohl und Scheuermann (2018) einhergeht. Hinsichtlich der Motivation kommen Wollenschläger et al. (2011) zu dem Schluss, dass es keinen signifikanten Effekt der kompetenziellen Rückmeldung auf die Gesamtskala der Motivation gibt. Werden jedoch die Subskalen in Betracht gezogen, fällt auf, dass das Interesse und das Kompetenzerleben in der Gruppe mit Rückmeldung höher war als in der Gruppe ohne Rückmeldung.

In der experimentellen Interventionsstudie von Wollenschläger et al. (2012) wird weiterführend zwischen Fremd- und Selbstfeedback unterschieden. Den Schüler:innen wird anhand von fünf Kompetenzstufen zum Planen eines Experiments schriftlich rückgemeldet, was ihr Lernstand ist. Beim Fremdfeedback wird dies durch Ankreuzen auf einer 5-stufigen Skala rückgemeldet. Beim Selbstfeedback schätzen die Schüler:innen ihren Lernstand in Relation zu den fünf dargebotenen Kompetenzstufen ein. In beiden Feedbackbedingungen werden die nicht angekreuzten Kompetenzstufen als die nächsten Schritte betrachtet. Es wurden Effekte auf die Performanz von Schüler:innen und die wahrgenommene Unterstützung durch das Feedback untersucht. Wollenschläger et al. (2012) kommen zu dem Schluss, dass das Fremdfeedback effektiver ist als das Selbstfeedback, was erneut von Ropohl und Scheuermann (2018) belegt werden konnte. Zudem schätzen die Schüler:innen mit Fremdfeedback dieses als signifikant unterstützender ein als die Schüler:innen, die mit Selbstfeedback gearbeitet haben. Weiterführend konnte die wahrgenommene Unterstützung als Mediator identifiziert werden und vermittelt den Effekt der Feedbackversion auf die Performanz.

In einer experimentellen Interventionsstudie von Ropohl und Scheuermann (2018) werden ebenfalls drei Feedbackversionen verglichen. Die erste Version enthält Informationen zum Lernziel, Lernstand und den nächsten Schritten (lösungsprozessbezogen) und beantwortet damit die von Hattie und Timperley (2007) aufgeworfenen Fragen. Im Vergleich dazu behandelt die zweite Version lediglich die Fragen zum Lernziel und zum Lernstand (lernstandbezogen). Die dritte Version besteht aus einer Selbsteinschätzung, bei der die Schüler:innen ihren Lernstand und die nächsten

Schritte anhand ihrer Experimentplanung im Vergleich zum gegebenen Lernziel selbst einschätzen. Das Feedback wurde in Form eines schriftlichen Rückmeldebogens zurückgegeben. Der Umfang des Feedbacks variiert ebenfalls je nach Gruppenzugehörigkeit und umfasst bis zu einer DIN A4-Seite. Es wurden Effekte auf die Performanz von Schüler:innen und die wahrgenommene Unterstützung durch das Feedback untersucht. Ropohl und Scheuermann (2018) kommen aufgrund ihrer Interventionsstudie zu dem Schluss, dass Feedback zu Lernziel, Lernstand und den nächsten Schritten die beste Wirkung erzielt. Feedback, das nur Informationen zu den Lernzielen und zum aktuellen Lernstand liefert, sowie die Selbsteinschätzung konnten nicht die höchste Wirkung erzielen, was widersprüchlich zu den Ergebnissen von Hild et al. (2020) ist. Hinsichtlich der wahrgenommenen Unterstützung durch das Feedback konnte gezeigt werden, dass die lösungsprozessbezogenen sowie die lernstandbezogenen Rückmeldungen als stärker unterstützend wahrgenommen werden als die Selbsteinschätzungen. Weiterführend kann geschlossen werden, dass der Effekt der Rückmeldung über die wahrgenommene Unterstützung auf das Planen von Experimenten mediiert wird. Diese Befunde bestätigen die bereits von Wollenschläger et al. (2012) identifizierten Zusammenhänge.

In der experimentellen Interventionsstudie von Hild et al. (2020) werden drei verschiedene Feedbackversionen verglichen, die die von Hattie und Timperley (2007) aufgeworfenen Fragen zum Lernziel, Lernstand und den nächsten Schritten beantworten. Eine Gruppe ohne Feedback dient als Referenz. Die erste Feedbackversion liefert ausschließlich Informationen zum Lernstand, die zweite ausschließlich Informationen zu den nächsten Schritten. Die dritte Version kombiniert Informationen zum Lernstand und den nächsten Schritten. Das Feedback wurde schriftlich in Form von Infokarten mit Comicfiguren erteilt. Der Umfang des Feedbacks variiert je nach Gruppenzugehörigkeit zwischen einem bis vier Sätzen. Hild et al. (2020) schlussfolgern, dass Schüler:innen hauptsächlich von Feedback zum aktuellen Lernstand profitieren und weniger von einer Kombination aus Feedback zum aktuellen Lernstand und den nächsten Schritten. Dieses Ergebnis widerspricht den Erkenntnissen der Studien von Wollenschläger et al. (2011) und Ropohl und Scheuermann (2018).

Die Befunde legen nahe, dass die verschiedenen Wirkungen des Feedbacks auf unterschiedliche Kombinationen überwiegend inhaltlicher und weniger gestalterischer Feedbackmerkmale zurückzuführen sind. Das Feedback von Hild et al. (2020) zeichnet sich dadurch aus, dass sowohl die Comicfigur auf den Infokarten als auch der vermittelte Inhalt je nach Feedbackversion variieren. In der Studie von Ropohl und Scheuermann (2018) wird der Inhalt des Feedbacks variiert, was indirekt auch das

## 2. Theoretischer Hintergrund

gestalterische Merkmal des angemessenen Informationsumfangs betrifft. Das Fremd- und Selbstfeedback von Wollenschläger et al. (2012) ist in seiner Struktur vollkommen identisch und unterscheidet sich lediglich durch das Merkmal des Feedbackgebenden: entweder die Testleitung oder die Schüler:innen selbst. Dies geschieht durch das Ankreuzen bzw. Nichtankreuzen der schriftlich präsentierten Kompetenzstufen. Auch die von Wollenschläger et al. (2011) eingesetzte kompetenzielle Rückmeldung ist gleichermaßen aufgebaut wie das Fremdfeedback der Interventionsstudie (2012).

Im Rahmen der vier beschriebenen Studien wurde neben dem Aufbau fachspezifischer Kompetenzen auch der Einfluss des Feedbacks auf weitere Schüler:innenmerkmale untersucht. So konnten Wollenschläger et al. (2012) sowie Ropohl und Scheuermann (2018) zeigen, dass Feedback, das von einer anderen Person ausgestellt wird (Fremdfeedback), stärker unterstützend wahrgenommen wird als Feedback, das die Schüler:innen sich selbst ausstellen (Selbstfeedback). Somit bestimmt der Feedbacksender die wahrgenommene Unterstützung des Feedbacks.

Wollenschläger et al. (2011) konnten zusätzlich zeigen, dass das Erhalten von Feedback, verglichen mit keinem Feedback, schwache positive Auswirkungen auf die Motivation der Schüler:innen hat. Ob deutlichere Variationen von gestalterischen und weniger von inhaltlichen Feedbackmerkmalen stärkere positive Effekte auf die Motivation von Schüler:innen nehmen kann, bleibt zu untersuchen. In den Diskussionen der Studien werden Vermutungen angestellt, dass Feedback auf Grund der Menge an gegebenen Informationen den Cognitive Load beeinflussen kann, was weiter untersucht werden sollte (Ropohl & Scheuermann, 2018; Wollenschläger et al., 2011). Um die Wirkung von Feedback auf den Cognitive Load und die Motivation von Schüler:innen zu untersuchen, muss berücksichtigt werden, wie verschiedenste Informationen kognitiv verarbeitet werden und was Motivation bedingt. In diversen Theorien kognitiver Belastung wird der Ablauf von Informationsverarbeitungsprozessen beschrieben. Ein allgemeines Merkmal dieser Theorien ist die Voraussetzung, dass Schüler:innen ausreichend motiviert sein müssen, um Verarbeitungsprozesse einzugehen. Somit werden im Folgenden grundlegende Theorien zu kognitiver Belastung und Motivation erläutert sowie in Kapitel 2.5 Befunde zum Einfluss von Feedback auf diese Schüler:innenmerkmale vorgestellt.

### **2.3 Theorien kognitiver Belastung**

Mit der Frage, wie Informationen verarbeitet und Wissen aufgebaut wird, beschäftigen sich verschiedene Theorien kognitiver Belastung. Die Cognitive Load Theory (CLT) legt die Basis für weitere Forschung beispielsweise im Bereich des multimedialen Lernens. Hier existiert unter anderem die Cognitive Theory of Multimedia Learning



(CTML), welche Hinweise für die Gestaltung von multimedialem Lernmaterial liefert und Informationsverarbeitungsprozesse erklärt. Diese beiden Theorien werden im Folgenden vorgestellt.

### 2.3.1 Cognitive Load Theory

Die Cognitive Load Theory (CLT) stellt die Annahme auf, dass Lernen mit dem Er-fahren kognitiver Belastung einhergeht. Im Rahmen der CLT wird besonders dem Arbeitsgedächtnis eine wichtige Funktion beim Lernen zugeschrieben. Im Arbeitsgedächtnis laufen Problemlöse- und Informationsverarbeitungsprozesse ab. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnis ist jedoch begrenzt und es kann nur eine gewisse Menge an Informationen festgehalten werden. Das Wissen wird schlussendlich in Form von kognitiven Konstrukten, auch Schemata genannt, im Langzeitgedächtnis gespeichert. Beim Lernen werden neue Schemata erstellt und neues Wissen mit bereits vorhandenem Wissen vernetzt. Eine wichtige Aussage der CLT ist, dass das Arbeitsgedächtnis ausreichend Kapazität aufweisen muss und kognitiv nicht überlastet sein darf, um das Aufstellen von neuen Schemata zu ermöglichen. Erst dann kann gehaltvolles Lernen stattfinden (Sweller, 1988, 2010; Sweller et al., 1998).

In der CLT werden drei Arten der kognitiven Belastung beim Lernen definiert. Der Intrinsic Cognitive Load wird durch die Schwierigkeit und Komplexität des Lernmaterials bedingt. Dieser steigt mit immer höherer Komplexität bzw. mit zunehmender Schwierigkeit des Lernmaterials. Der Extraneous Cognitive Load wird durch die Gestaltung des Lernmaterials beeinflusst. Enthält ein Lernmaterial überflüssige oder nicht relevante Informationen, wird der Extraneous Cognitive Load erhöht. Sind multimediale Inhalte ohne didaktische Relevanz vorhanden, lenkt dies die Aufmerksamkeit der Schüler:innen ab und der Extraneous Cognitive Load wird ebenfalls gesteigert. Die dritte Art des Cognitive Load ist der lernbezogene Cognitive Load (Germane Cognitive Load). Darunter wird die Denkanstrengung verstanden, die aufgebracht werden muss, um das Lernmaterial zu verstehen. Die Unterstützung des Germane Cognitive Load ist von großer Bedeutung, da nur so neue Schemata im Arbeitsgedächtnis aufgebaut und schon vorhandene Schemata aktiviert werden können. Dann findet gehaltvolles Lernen statt. Indem Intrinsic und Extraneous Cognitive Load gering gehalten werden, kann der Germane Cognitive Load unterstützt werden. Dies kann durch eine passende Gestaltung des Lernmaterials stattfinden. Aus der Definition der drei Arten des Cognitive Load der CLT wird ersichtlich, dass diese drei Arten vollständig miteinander verknüpft sind. Das Ziel der Gestaltung von Lernmaterial sollte die Reduktion des Extraneous Cognitive Load sein, damit der Germane Cognitive Load agieren kann. Sind der Extraneous und Germane Cognitive Load trotzdem hoch kann nach wie vor

## 2. Theoretischer Hintergrund

effektives Lernen stattfinden, wenn der Intrinsic Cognitive Load gering ist. Der gesamte Cognitive Load (Overall Cognitive Load) würde trotzdem als niedrig eingeschätzt werden. Abschließend ist festzuhalten, dass die Aufbereitung des Lernmaterials sowohl auf inhaltlicher als auch auf gestalterischer Ebene der ausschlaggebende Faktor für die Höhe des Overall Cognitive Load ist (Sweller, 1988, 2010; Sweller et al., 1998).

### 2.3.2 Cognitive Theory of Multimedia Learning

Wird Lernmaterial gestaltet, das textliche und bildliche Repräsentationen enthält, kann bei der Gestaltung des Lernmaterials auf die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) zurückgegriffen werden. Die CTML basiert unter anderem auf der CLT und hat folgende drei Annahmen zu Grunde: (1) die Kapazität des Arbeitsgedächtnis ist begrenzt, (2) Informationsverarbeitung erfolgt im Arbeitsgedächtnis über den visuellen und verbalen Kanal, (3) nur durch die aktive Verarbeitung von Informationen kann Wissen aufgebaut werden. Die CTML bietet Ansätze, wie Lernmaterial so gestaltet werden kann, dass die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses berücksichtigt wird und lernförderliche Informationsverarbeitungsprozesse angeregt werden. Über welches Medium (digital oder analog) die Informationen zur Verfügung gestellt werden ist nicht von Bedeutung, da die kognitiven Prozesse beim Lernen im Vordergrund der Theorie stehen (Mayer, 2012, 2014).

Die CTML nimmt an, dass zum Verstehen eines Lerninhalts der Aufbau eines kohärenten mentalen Modells notwendig ist. Dieses Modell umfasst die Schlüsselinformationen des Lerninhalts und stellt untereinander existierende Beziehungen dar. Folgende Prozesse müssen Schüler:innen durchlaufen, um ein kohärentes mentales Modell aufbauen zu können: (1) sie müssen relevante Bild- und Textelemente auswählen (Selektion), (2) diese in einem verbalen bzw. bildhaften mentalen Modell organisieren (Organisation) sowie (3) diese beiden mentalen Modelle miteinander und mit gespeichertem Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis in ein gemeinsames mentales Modell überführen (Integration). Der letzte Prozess ist nicht nur der schwierigste, sondern auch der wichtigste Prozess. Dem SOI-Modell liegen verschiedene Annahmen zu Grunde. Die erste Annahme ist, dass das Arbeitsgedächtnis voneinander unabhängige auditive und visuelle Kanäle mit begrenzter Kapazität zur Speicherung von Informationen hat. Diese Annahme ist konsistent mit den Aussagen der CLT (Chandler & Sweller, 1991; Sweller et al., 1998). Die zweite Annahme ist, dass der Mensch für die Verarbeitung verbaler und non-verbaler Repräsentationen zwei separate Systeme hat. Dies wird in der „Dualen Kodierungstheorie“ von Paivio (1986) bestätigt. Weiterführend liefert das Integrated Model of Text and Picture Comprehension (IMTCP) eine

detaillierte Beschreibung, welche Prozesse bei der Wissenskonstruktion im Arbeitsgedächtnis ablaufen. Hierbei wird zwischen deskriptionalen und depiktionalen Repräsentationen unterschieden. Deskriptionale Repräsentationen zeichnen sich dadurch aus, dass diese aus Symbolen bestehen, deren Bedeutung klar definiert und bekannt ist, z. B. ein Text. Depiktionale Repräsentationen werden durch Zeichen charakterisiert, die mit dem dargestellten Sachverhalt eine Gemeinsamkeit aufzeigen, z. B. Bilder. Text und Bild unterstützen sich beim Aufbau von mentalen Modellen, da deskriptionale und depiktionale Repräsentationen miteinander wechselwirken. Soll abstraktes Wissen vermittelt werden, eignen sich deskriptionale Repräsentationen besser. Im Vergleich dazu sind depiktionale Repräsentationen mit einem ausführlicheren Informationsgehalt ausgestattet (Schnotz, 2014; Schnotz & Bannert, 2003).

Beim kumulativen Lernen treten während des Aufbaus eines mentalen Modells drei Arten von Verarbeitungsprozesse auf: Verarbeitungsprozesse, die (1) nicht zum Erreichen des Lernziels beitragen, (2) erforderlich sind, um zentrale Elemente des Lernmaterials im Arbeitsgedächtnis abzubilden und (3) für ein tieferes Verständnis erforderlich sind. Verarbeitungsprozesse, die nicht zum Erreichen des Lernziels beitragen, werden durch eine unpassende Gestaltung des Lernmaterials hervorgerufen. Verarbeitungsprozesse, die erforderlich sind, um zentrale Elemente des Lernmaterials im Arbeitsgedächtnis abzubilden, werden durch eine zu hohe Komplexität des Lernmaterials ausgelöst. Verarbeitungsprozesse, die für ein tieferes Verständnis erforderlich sind, sind auf die Motivation der Schüler:innen zurückzuführen. Von dieser Motivation hängt die Bereitschaft ab, Denkanstrengung zu investieren. Je nach Verteilung dieser drei Verarbeitungsprozesse ist das Lernen unterschiedlich erfolgreich. Ein geringer Lernerfolg wird erwartet, wenn sachfremde Verarbeitungsprozesse eine zu hohe Kapazität beanspruchen und lernrelevante Verarbeitungsprozesse nicht mehr ausreichend ausgeführt werden (Extraneous Overload). Sind die Schüler:innen aufgrund der Komplexität der Lerninhalte mit der Menge der neuen Informationen überfordert, können Verarbeitungsprozesse für ein tieferes Verständnis nur begrenzt ausgeführt werden (Essential Overload). Außerdem kommt es dazu, dass Verarbeitungsprozesse, die für ein tieferes Verständnis erforderlich sind, nicht ausgeführt werden, weil es an Motivation mangelt (Generative Processing Underutilization). Somit sollte bei der Gestaltung von Lernmaterial darauf geachtet werden, dass Extraneous Overload, Essential Overload und Generative Processing Underutilization nicht auftreten. Hierfür liefert Mayer (2014) konkrete Gestaltungsprinzipien (Mayer, 2014).

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 1) Multimedia Principle

Das Multimedia Principle besagt, dass Schüler:innen besser lernen, wenn eine Kombination aus Texten und Bildern präsentiert wird verglichen mit nur Text oder nur Bild. Die Schüler:innen haben die Möglichkeit, verbale und visuelle mentale Modelle aufzubauen und diese miteinander zu verbinden. Stehen nur textliche Informationen zu Verfügung, wird zwar ein verbales mentales Modell aufgebaut, aber die Wahrscheinlichkeit, dass ein visuelles mentales Modell sowie Verbindungen zwischen beiden Modellen ausgebaut werden, ist gering. Ein weiteres Argument für das Kombinieren von Text und Bild zur Informationspräsentation ist, dass verbale und visuelle Repräsentationen einander komplementieren und nicht durch die jeweils andere substituiert werden können. Die Befundlage ist eindeutig: In elf von elf Studien lernten Schüler:innen mit Material, bestehend aus einer Kombination von Text und Bild, erfolgreicher als Schüler:innen, die nur mit Text lernten. Vor allem für Schüler:innen mit niedrigem Vorwissen ist Material bestehend aus einer Kombination von Text und Bild lernunterstützend (Mayer, 2014).

### 2) Spatial Contiguity Principle

Das Spatial Contiguity Principle plädiert dafür, dass zusammengehörige Texte und Bilder räumlich nah beieinander als weit auseinander auf der Seite präsentiert werden. Werden korrespondierende Texte und Bilder auf der Seite räumlich nah beieinander abgebildet, müssen die Schüler:innen keine kognitiven Ressourcen aufwenden, um die Seite nach diesen Informationen abzusuchen und können diese besser gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis halten. Sind die zusammengehörigen Text und Bilder auf der Seite verteilt, müssen Schüler:innen kognitive Ressourcen aufwenden, um diese Informationen zu suchen, und die Wahrscheinlichkeit, dass diese gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden, ist gering. Auch hier ist die empirische Grundlage gegeben: In fünf von fünf Studien erzielten Schüler:innen, die mit integriertem Material gelernt haben bessere Lernerfolge verglichen mit Schüler:innen, denen korrespondierender Text und Bild räumlich getrennt präsentiert wurde. Vor allem für Lernmaterial, das komplex ist, eignet sich das Spatial Contiguity Principle (Mayer, 2014).

### 3) Signaling Principle

Das Signaling Principle besagt, dass Schüler:innen besser lernen, wenn zentrale Begriffe und Bildelemente hervorgehoben werden. Somit wird ihre Aufmerksamkeit gezielt auf diese Elemente gelenkt und unnötige Suchprozesse werden unterbunden. Es wird zwischen verbalem und visuellem signaling unterschieden. Das verbale signaling umfasst kurze Zusammenfassungen zu Anfang des Lernens, Zwischenüberschriften,

die Betonung einzelner Wörter und das Verwenden strukturierender Begriffe. Das visuelle signaling schließt den Einsatz von Pfeilen oder markanten Farben ein. Die empirische Grundlage ist klar: In fünf von sechs Studien lernten Schüler:innen erfolgreicher, wenn Prinzipien des Signalings eingesetzt wurden, um ihre Aufmerksamkeit auf zentrale Lernelemente zu lenken, verglichen mit einer Gruppe Schüler:innen, die Lernmaterial ohne die Anwendung dieses Prinzips erhalten haben. Vor allem für lese-schwache Schüler:innen stellt dieses Prinzip eine hohe Unterstützung dar (Mayer, 2014).

### **4) Coherence Principle**

Im Rahmen des Coherence Principle wird der Einsatz externen Materials im Rahmen des Lernmaterials diskutiert. Die allgemeine Annahme ist, dass externes Material besser exkludiert werden sollte. Dies kann mit Hilfe von drei ergänzenden Erklärungen dargelegt werden: (1) Das Lernen wird eingeschränkt, wenn interessante aber für das Erreichen des Lernziels irrelevante Texte und Bilder inkludiert werden (seductive details), (2) Das Lernen wird eingeschränkt, wenn interessante aber für das Erreichen des Lernziels irrelevante Geräusche und Musik inkludiert werden, (3) Das Lernen wird unterstützt, wenn irrelevante Texte aus einer multimedialen Präsentation ausgespart werden. Der Grund ist, dass externes Material in Konkurrenz zum notwendigen Material steht und um kognitive Ressourcen wetteifert (Mayer, 2009).

Informationen, die von Schüler:innen als interessant empfunden werden, aber für das Erreichen des Lernziels irrelevant sind, werden als seductive details bezeichnet. Durch seductive details wird (1) die Aufmerksamkeit der Schüler:innen abgelenkt, (2) der Aufbau kohärenter mentaler Repräsentationen des Lerninhaltes negativ beeinträchtigt und (3) das Vorwissen der Schüler:innen sowie der Lerninhalt in nicht angemessene Schemata integriert. In bisherigen Studien (sechs von sechs) konnte gezeigt werden, dass Schüler:innen mit Lernmaterial, das auf seductive details verzichtet, einen besseren Lernerfolg erzielen als Schüler:innen, die Lernmaterial, das seductive details integriert, nutzen (Mayer, 2014).

### **5) Personalization Principle**

Das Personalization Principle beschreibt, dass für ein erfolgreiches Lernen Text im Gesprächsstil präsentiert werden sollte. Es besteht die Annahme, dass Schüler:innen mehr kognitive Ressourcen nutzen, um präsentierte Informationen zu verstehen, wenn sie das Gefühl haben, dass der Autor mit ihnen spricht. Dieses Gefühl kann durch (1) das Nutzen von Formulierungen, welche die erste und zweite Person verwenden, und (2) das Nutzen von Sätzen, in welchen die Schüler:innen als Person direkt adressiert

## 2. Theoretischer Hintergrund

werden, entstehen. In vierzehn von siebzehn Studien konnten positive Ergebnisse für den Einsatz des Personalization Principle erzielt werden. In welchem Umfang und in welcher Form der Einsatz personalisierender Form besonders wirksam ist, ist nicht vollständig geklärt (Mayer, 2014). Es wird vermutet, dass Personalisierung dann besonders effektiv ist, wenn die Schüler:innen den Autor nicht kennen (Mayer, 2014).

Neben der CLT nimmt auch die CTML eine begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses an. Zusätzlich wird der kombinierte Einsatz von Text und Bild als lernunterstützende Gestaltung angesehen. Die dazugehörigen Gestaltungsprinzipien bieten einen Ansatz für das Erstellen von Feedback im Sinne eines Lernunterstützungsmaterials, welches darauf abzielt, den Cognitive Load der Schüler:innen so gering wie möglich zu halten. Eine zentrale Annahme der Theorien ist, dass Schüler:innen ausreichend motiviert sein müssen, um diese komplexen Verarbeitungsprozesse auszuführen. Zusätzlich wird die Motivation allgemein als kritischer Lernerfolgskfaktor in den Mittelpunkt gestellt. Welche Faktoren die Motivation bedingen, wird im Folgenden dargestellt.

### **2.4 Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation**

Zu den gängigsten Motivationstheorien zählt die Selbstbestimmungstheorie (*engl.* Self-Determination Theory) von Deci und Ryan (1985). Sie ist eine Motivationstheorie, die die psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit als Faktoren für das Ausmaß an Motiviertheit einbezieht. Allgemein bedeutet im Rahmen dieser Theorie motiviert zu sein, eine Inspiration zum Handeln zu verspüren. Inwieweit die drei psychologischen Grundbedürfnisse befriedigt sind, bestimmt, wie hoch die Inspiration zum Handeln ist.

Unter Autonomie wird die Notwendigkeit zu selbstbestimmtem und vor allem freiwilligem Handeln verstanden. Das Handeln resultiert aus eigener Kraft und ist nicht extern gesteuert. Zudem sind das Handeln oder das Verhalten deckungsgleich zu den eigenen Interessen und Werten (Ryan & Deci, 2018). Unter Kompetenz wird das Grundbedürfnis nach effektivem und wirksamem Handeln verstanden. Im Rahmen dieses Grundbedürfnisses wird beschrieben, dass sich Menschen in jedem Lebenskontext zu effektivem Handeln befähigt fühlen müssen. Das Bedürfnis nach Kompetenzerleben resultiert beispielsweise aus einem Streben nach Erfolg und aus Neugier an einem Sachverhalt (Ryan & Deci, 2018). Unter sozialer Eingebundenheit wird das Erleben von Zugehörigkeit beschrieben. Vor allem wenn sich Menschen umsorgt fühlen, erleben sie soziale Eingebundenheit. Aber auch wenn Menschen das Gefühl haben,

dass sie zu einer sozialen Gruppe wichtige Beiträge zusteuern, fühlen sie sich eingebunden (Ryan & Deci, 2018).

Die verschiedenen Theorien zur kognitiven Belastung (CLT, CTML) verdeutlichen, wie wichtig eine sorgfältige Gestaltung von Lernmaterialien ist, um den kognitiven Prozess zu unterstützen und den Cognitive Load der Schüler:innen zu regulieren. Diese Theorien liefern wertvolle Erkenntnisse zur Gestaltung von Lernmaterialien, die auch für die Entwicklung lernunterstützenden Feedbacks von Bedeutung sein können. Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation betont die Bedeutung der psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit für die Ausprägung der Motivation. Die Art und Weise, wie Feedback inhaltlich und gestalterisch umgesetzt wird, kann möglicherweise dazu beitragen, diese Bedürfnisse zu befriedigen und dadurch die Motivation der Lernenden zu fördern. Das folgende Kapitel 2.5 führt diese Ansätze zusammen und erläutert empirische Befunde zum Effekt von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale.

### **2.5 Zusammenführung**

In empirischen Untersuchungen wurde analysiert, inwiefern Feedback, den Aufbau von fachspezifischen Kompetenzen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie unterstützt. Wollenschläger et al. (2011) konnten zeigen, dass auf Niveaustufen bezogenes Feedback, mit Informationen zu Lernzielen, Lernstand und nächsten Schritten, wirksamer ist als kein Feedback zu erhalten. Zusätzlich konnten Wollenschläger et al. (2012) herausfinden, dass Fremdfeedback wirksamer ist und unterstützender wahrgenommen wird als Selbstfeedback. Hild et al. (2020) haben herausgefunden, dass Schüler:innen vor allem dann von Feedback profitieren, wenn dieses Informationen zum aktuellen Leistungsstand enthält und weniger von einer Kombination aus Informationen zu Leistungsstand und nächsten Schritten. Ropohl und Scheuermann (2018) zeigten, dass Feedback, das Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu den nächsten Schritten enthält, am effektivsten und unterstützendsten ist im Vergleich zu Feedback mit Informationen zu Lernzielen und nächsten Schritten sowie Selbstfeedback. Anhand dieser Befunde ist zu erkennen, dass Feedback stark differenziell wirkt und keine spezifische Feedbackversion grundsätzlich einer anderen überlegen ist. In den bisherigen Feedbackstudien werden vorwiegend inhaltliche Merkmale von Feedback variiert, woraus unterschiedliche Befunde hinsichtlich des Erzielens von Lernerfolg resultieren. Teilweise geht diese Variation inhaltlicher Merkmale mit einer indirekten Variation gestalterischer Merkmale einher.

## 2. Theoretischer Hintergrund

Jedoch werden in der Literatur, neben inhaltlichen, auch viele verschiedene gestalterische Merkmale lernwirksamen Feedbacks vorgeschlagen, die es systematisch zu untersuchen gilt.

Weitere Ergebnisse der oben genannten Studien lassen vermuten, dass Feedback kognitive und affektive Merkmale, wie den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung, beeinflusst, was gleichzeitig den Aufbau von fachspezifischen Kompetenzen durch das Feedback bedingt. Es wird angenommen, dass vor allem die Gestaltung der rückgemeldeten Informationen im Feedback den Einfluss auf Cognitive Load, Motivation und wahrgenommener Kompetenzunterstützung bestimmen (Ropohl et al., 2023; Scheuermann, 2017; Wollenschläger et al., 2011, 2012).

Als mögliches beeinflussendes gestalterisches Merkmal wird die Darstellungsform, z. B. Grafiken oder Bilder, der rückgemeldeten Informationen angeführt. Die zuvor beschriebenen Theorien kognitiver Belastung (CLT, CTML) bestätigen, dass die Darstellungsform von Informationen für den Cognitive Load von Relevanz ist. So hat sich die Gestaltung der Informationspräsentation über eine Kombination aus Texten und Bildern im Vergleich zu nur Texten oder nur Bildern als besonders lernwirksam herausgestellt, da kognitive Ressourcen effektiv genutzt werden. Bei der Aufbereitung eines solchen multimedialen Lernmaterials ist darauf zu achten, dass die Informationen aus Text und Bild räumlich benachbart und zeitlich simultan dargestellt werden, um den Cognitive Load so gering wie möglich zu halten. Zudem sollten nur Abbildungen mit didaktischem Wert präsentiert werden, um das Lernen auf relevante Informationen zu lenken. Das direkte Adressieren der Schüler:innen und das Hervorheben lernrelevanter Informationen ist ebenfalls vorteilhaft. Diese Gestaltungsprinzipien wurden bereits in verschiedensten Lernkontexten empirisch validiert (Mayer, 2005, 2009, 2014; Moreno, 2005, 2006; Ryan & Deci, 2018; Schnotz, 2005, 2014; Schnotz & Bannert, 2003). Magner et al. (2014) vergleichen in ihrer Studie Lernmaterial, das mit und ohne dekorative Abbildungen gestaltet ist. Die dekorativen Abbildungen wurden als interessant aber nicht bedeutsam eingeschätzt, da diese keiner tieferen kognitiven Verarbeitung bedürfen. Es konnte außerdem festgestellt werden, dass Schüler:innen mit hohem Vorwissen, die mit dem Lernmaterial arbeiten, das dekorative Abbildungen beinhaltet, bessere Lernergebnisse erzielen als die Schüler:innen, die Lernmaterial ohne dekorative Abbildungen erhalten. Die dekorativen Abbildungen hatten einen negativen Einfluss auf Schüler:innen mit geringem Vorwissen. Möglicherweise sind sie kognitiv überlastet (Magner et al., 2014). Ob die Darstellungsform von Feedbackinformationen kognitive und affektive Merkmale von Schüler:innen beim Planen von Experimenten beeinflusst, ist ungeklärt.



## 2. Theoretischer Hintergrund

Neben der Darstellungsform wird der Ton der rückgemeldeten Informationen als mögliches beeinflussendes gestalterisches Merkmal angenommen. In der Untersuchung von Scheuermann (2017) wurde sachlich formuliertes Feedback mit Informationen zu Lernziel, Lernstand und nächsten Schritten eingesetzt. Für die Arbeit mit diesem Feedback wurde von den Schüler:innen ein niedriger Cognitive Load berichtet. Zudem schreiben Deci (1971) sowie Pitt und Norton (2016), dass positives Feedback zu erbrachter Leistung die intrinsische Motivation verstärkt. Ob diese Befunde für Feedback gelten, das das Planen von Experimenten unterstützt, ist zu überprüfen.

Hinsichtlich des Merkmals der wahrgenommenen Kompetenzunterstützung des Feedbacks ist bereits bekannt, dass die Kompetenzunterstützung den Lernzuwachs im Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie vermittelt (Scheuermann, 2017; Wollenschläger, 2012). Dies gilt für Feedback, das Informationen zu Lernziel, Lernstand und nächsten Schritten rückmeldet und von einer externen Person ausgestellt wird. Ob gestalterische Merkmale von Feedback ebenfalls einen Einfluss auf die wahrgenommene Kompetenzunterstützung haben, bleibt zu klären.

Die Auswirkung verschiedener Feedback-Modalitäten auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale und die Veränderung dieser Merkmale in einer Lernsituation beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie gilt es zu untersuchen.



#### 3. Ziel, Forschungsfragen und Hypothesen

Vor dem Hintergrund des zuvor dargelegten Forschungsstandes ist das Ziel des vorliegenden Projektes das Überprüfen von unterstützenden Feedbackmerkmalen (Untersuchung 1), das Analysieren des Effektes von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale (Untersuchung 1 und 2) sowie das Analysieren der feedback-induzierten Veränderung kognitiver Schüler:innenmerkmale (Untersuchung 3) beim feedbackgestützten Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie.

Im Rahmen der ersten Untersuchung gilt es zunächst die in der Theorie herausgestellten gestalterischen und inhaltlichen Merkmale von Feedback von Schüler:innen hinsichtlich der wahrgenommenen Unterstützung dieser Merkmale beim Planen von Experimenten im Chemieunterricht einschätzen zu lassen. Zudem soll der Einfluss des eingesetzten Feedbacks auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung analysiert werden. Hierzu werden ein selbstentwickelter Einschätzungsbogen für die Analyse der Feedbackmerkmale sowie drei verschiedene Feedbackversionen im Chemieunterricht eingesetzt.

**Forschungsfrage 1a:** Welche Feedbackmerkmale schätzen Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie als unterstützend ein?

**Hypothese 1a:** In der Kategorie *Gestaltung* werden das Vorliegen von Feedback in schriftlicher Form, ein adäquater Informationsumfang, das direkte und persönliche Ansprechen des Adressaten, ein direkter Aufgabenbezug, die sprachliche Verständlichkeit sowie das Aufführen anschaulicher Beispiele zur Umsetzung nächster Schritte und Verbesserung von Fehlern als unterstützende Merkmale eingeschätzt (Bangert-Drowns et al., 1991; Behnke, 2016; Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008; Wisniewski et al., 2020). In der Kategorie *Inhalt* werden das Aufführen von Informationen zum Lernziel, Lernstand und den nächsten Schritten sowie die positive Bestärkung durch das Beantworten der drei genannten Feedbackfragen als unterstützende Merkmale eingeschätzt (Hattie & Timperley, 2007; Pekrun, 2006).

**Forschungsfrage 1b:** Welchen Einfluss hat Feedback mit unterschiedlichen gestalterischen Schwerpunkten auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie?

### 3. Ziel, Forschungsfragen und Hypothesen

**Hypothese 1b:** Sachlich formuliertes Feedback führt zu einem reduzierten Cognitive Load (Scheuermann, 2017). Motivierend formuliertes Feedback führt zu einer erhöhten Motivation (Deci, 1971; Pitt & Norton, 2016). Feedback, das sich durch graphisch dargestellte Informationen auszeichnet reduziert den Cognitive Load und erhöht die Motivation (Mayer, 2001).

Da das in Untersuchung 1 eingesetzte Feedback keinen Einfluss auf den Cognitive Load und die Motivation genommen hat, wurde das Feedback basierend auf den Daten dieser Untersuchung mit Hilfe der Gestaltungsprinzipien der CTML überarbeitet und erneut im Chemieunterricht eingesetzt. Folglich soll erneut der Einfluss des überarbeiteten Feedbacks auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale überprüft werden. Da aus der Theorie potenziell mediiierende Effekte kognitiver und affektiver Schüler:innenmerkmale abzuleiten sind, wird dies zusätzlich analysiert. Hierzu werden drei verschiedene Feedbackversionen im Chemieunterricht eingesetzt, die sich darin unterscheiden, über welche Kanäle Informationen präsentiert werden. So gibt es Feedback, das Informationen nur über Text, nur über Bild oder über eine Kombination aus Text und Bild rückmeldet.

**Forschungsfrage 2a:** Welchen Einfluss hat Feedback, das Informationen nur über Text, nur über Bild oder über eine Kombination aus Text und Bild rückmeldet auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie?

**Hypothese 2a:** Feedback, das Informationen über eine Kombination aus Text und Bild rückmeldet, reduziert den Cognitive Load am stärksten, steigert die Motivation am meisten und leistet die höchste Kompetenzunterstützung im Vergleich zu Feedback, das Informationen nur über Text oder nur über Bild präsentiert (Mayer, 2001, 2009, 2012; Moreno, 2006; Schnotz, 2005, 2014; Schnotz & Bannert, 2003; Sweller et al., 1998).

**Forschungsfrage 2b:** Inwiefern wird der Einfluss von Feedback auf die Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie über den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung vermittelt?

**Hypothese 2b:** Der Cognitive Load mediiert den Effekt des Feedbacks auf die Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie nicht (Scheuermann, 2017). Die Motivation mediiert den Effekt des Feedbacks auf den

### 3. Ziel, Forschungsfragen und Hypothesen

Lernzuwachs gemessen an der Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Vollmeyer & Rheinberg, 2005). Die wahrgenommene Kompetenzunterstützung mediiert den Effekt des Feedbacks auf die Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Scheuermann, 2017; Wollenschläger, 2012).

Im Rahmen der dritten Untersuchung soll weiterführend ermittelt werden, wie Schüler:innen im Chemieunterricht mit dem Feedback arbeiten, das Informationen über Text und Bild vermittelt, da sich dieses in der zweiten Untersuchung als effektivste Feedbackversion herausgestellt hat. Hierbei wird der Fokus auf die Ausprägung des Cognitive Load und der fachspezifischen Kompetenz zum Planen eines Experiments im Verlauf der Lerngelegenheit gelegt. Abschließend sollen Interviews mit Schüler:innen geführt werden, um unterstützende Erklärungen der quantitativen Daten bezüglich Forschungsfrage 3a zu generieren.

**Forschungsfrage 3a:** Wie stark sind der Cognitive Load und die fachspezifische Kompetenz für die Planung eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie im Verlauf der Lerngelegenheit ausgeprägt?

**Hypothese 3a:** Der Cognitive Load sinkt im Verlauf der Lerngelegenheit, da das Feedback, mit welchem ein Experiment unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geplant werden soll, anhand der Gestaltungsprinzipien der Cognitive Theory of Multimedia Learning erstellt wurde (Mayer, 2001). Im Verlauf der Lerngelegenheit steigen die Kompetenzen für das Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie an, insbesondere nach der Arbeit mit lernbegleitendem Feedback.

**Forschungsfrage 3b:** Inwiefern sind Schüler:innen in der Lage nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback im Rahmen des Verfassens einer Experimentplanung die Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie zu begründen?

**Forschungsfrage 3c:** Auf Grund welcher Gestaltungsprinzipien der Cognitive Theory of Multimedia Learning wird die Präsentation des Lernstands und der nächsten Schritte im Text-Bild Feedback als hilfreich eingeschätzt?

Die empirischen Ergebnisse sollen unterstützende Feedbackmerkmale identifizieren, Hinweise bezüglich der inhaltlichen und gestalterischen Aufbereitung von Feedback liefern, den Einfluss dieses Feedbacks auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale sowie die Art und Weise des Arbeitens von Schüler:innen mit dem Feedback

### 3. Ziel, Forschungsfragen und Hypothesen

beschreiben, damit diese Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Unterricht implementiert werden können, um die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten zu fördern.

## 4. Untersuchungsplan

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden eine experimentelle Untersuchung und zwei Querschnittsstudien durchgeführt. Die erste Untersuchung widmet sich der Forschungsfrage 1, die zweite Untersuchung der Forschungsfrage 2 und die dritte Untersuchung der Forschungsfrage 3 (siehe Abbildung 3). In diesem Kapitel wird ein Überblick über die thematischen Schwerpunkte sowie Herleitungen der drei durchgeführten Untersuchungen gegeben. In der ersten Untersuchung steht zunächst die Überprüfung der in der Theorie identifizierten gestalterischen und inhaltlichen Merkmale des Feedbacks bezüglich der Unterstützung bei der Experimentplanung im Vordergrund. Darüber hinaus soll der Einfluss dreier Feedbackversionen mit unterschiedlichen gestalterischen Schwerpunkten auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen analysiert werden. Hierzu planen die Schüler:innen zu einer vorgegebenen Frage und Hypothese ein Experiment, zu welchem sie ein individuelles Feedback erhalten. Das Feedback meldet als diagnostisches Instrument zurück, welche Lernziele durch das Bearbeiten der Aufgabe erreicht werden sollen, welche Lernziele bereits erreicht wurden (Lernstand) und was getan werden muss, um alle Lernziele zu erreichen (nächste Schritte). Als Lernziele werden der Experimentplanung die Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie zugrunde gelegt. Das sachliche Feedback (Untersuchungsgruppe 1; UG) zeichnet sich durch sachlich formulierte Informationen in Textform aus. Das motivierende Feedback ist durch motivierend formulierte Feedbackinformationen und einen abschließenden motivierenden Text gekennzeichnet (UG2). Das graphische Feedback ist durch eine graphische Aufbereitung der Feedbackinformationen charakterisiert (UG3). In der zweiten Sitzung erhalten die Schüler:innen ihr individuelles Feedback und planen mit Hilfe dessen eine neue Experimentplanung. Im Anschluss an das feedbackgestützte Experimentplanen wird das Feedback mittels eines selbstentwickelten Einschätzungsbogens bewertet, um die Unterstützung der aus der Literatur abgeleiteten gestalterischen und inhaltlichen Feedbackmerkmale einzuschätzen. Abschließend werden Angaben zum Cognitive Load, zur Motivation und zur wahrgenommenen Kompetenzunterstützung durch das Feedback gemacht.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchung werfen zwei Probleme auf. Zum einen zeigen sich im Vergleich der drei Feedbackversionen keine Einflüsse auf die Motivation und den Cognitive Load der Schüler:innen und zum anderen ist die rekrutierte Stichprobe sehr klein, woraus eine geringe statistische Power resultiert. Somit wird in der zweiten Untersuchung das Feedback stark überarbeitet, indem deutlichere gestalterische Kontraste zwischen den Feedbackversionen ausgearbeitet werden, um erneut den Einfluss des Feedbacks auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene

#### 4. Untersuchungsplan

Kompetenzunterstützung von Schüler:innen zu untersuchen. Eine inhaltliche Anpassung der Informationen im Feedback ist nicht notwendig, da eine allgemeine Lernwirksamkeit des Feedbacks zu verzeichnen ist. Es wird weiterführend zwischen den Repräsentationsformen Nur-Text (UG2), Nur-Bild (UG3) und der Kombination Text-Bild (UG4) unterschieden. Eine Vergleichsgruppe (UG1) dient als Referenz. Die Feedbackversionen melden alle den identischen Inhalt zurück, da das Feedback im Sinne einer Simulation eingesetzt wurde und immer dieselbe Experimentplanung einer fiktiven Schülerin als Referenznorm zugrunde liegt. Dieses Untersuchungsdesign kann als Szenario basierter Ansatz bezeichnet werden (z. B. Berndt et al., 2018). Die Schüler:innen lesen die vorgefertigte Experimentplanung der fiktiven Schülerin Lea. Im Anschluss lesen die Schüler:innen eine der vier Feedbackversionen, die sich auf die Experimentplanung von Lea bezieht. Das Feedback meldet den Schüler:innen zurück, welche Merkmale der Variablenkontrollstrategie bei einer Experimentplanung angewendet werden müssen (Lernziele), welche Merkmale Lea bereits berücksichtigt hat (Lernstand) und welche Merkmale bei einer künftigen Experimentplanung noch berücksichtigt werden müssen (nächste Schritte). Die Schüler:innen bekommen anschließend die Aufgabe mit Hilfe des Feedbacks die Experimentplanung von Lea schriftlich in eigenen Worten neu zu schreiben und dabei alle Merkmale der Variablenkontrollstrategie umzusetzen. Anschließend werden Angaben zum Cognitive Load, zur Motivation und zur wahrgenommenen Kompetenzunterstützung durch das Feedback gemacht. Zudem wird das erhaltene Feedback erneut mit dem selbstentwickelten Einschätzungsbogens bewertet. Da die zweite Untersuchung nur eine Testsitzung umfasst, konnte eine deutlich größere Stichprobe rekrutiert und ein hoher Drop-Out vermieden werden, woraus eine ausreichende statistische Power folgt.

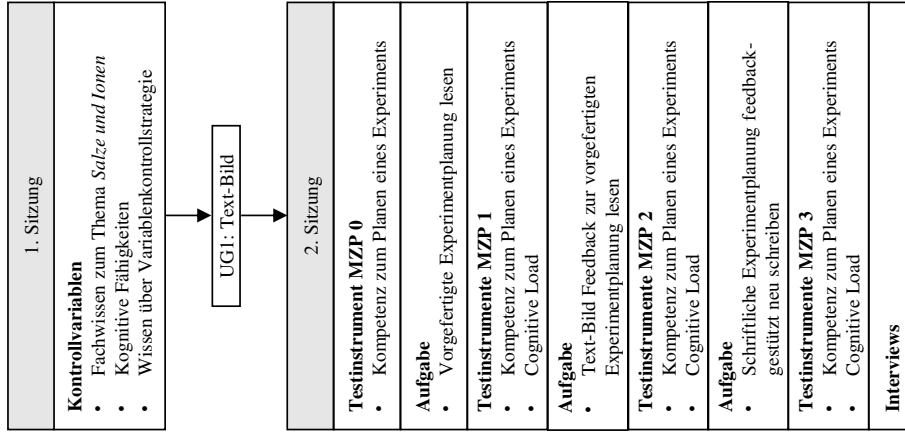
Die Ergebnisse der zweiten Untersuchung werfen weiterführende Fragen auf, da nun ein Einfluss des Feedbacks auf den Cognitive Load aber nicht auf die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu erkennen ist. So wird in der dritten Untersuchung tiefergehend analysiert, wie stark der Cognitive Load in der beschriebenen Lerngelegenheit ausgeprägt ist, wenn mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet wird. Weitere Untersuchungen zum Einfluss des Feedbacks auf die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung werden nicht vorgenommen, sondern die Befunde in der Diskussion kritisch aufgearbeitet. Neben der Ausprägung des Cognitive Load wird in der dritten Untersuchung zusätzlich die Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie betrachtet. Hierfür wurde ein Testinstrument entwickelt und evaluiert, das aufgrund vier thematisch unterschiedlicher Subskalen eine Messung über die Zeit erlaubt. In der ersten Sitzung füllen die Schüler:innen lediglich die Testinstrumente zu den



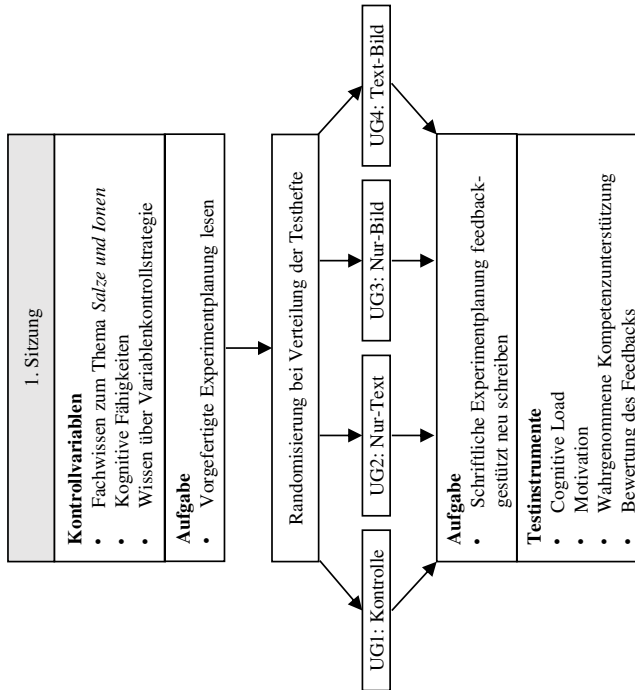
Kontrollvariablen aus. Die zweite Sitzung startet mit dem Ausfüllen des Testinstruments zum Erfassen der Kompetenz zum Planen eines Experiments (MZP 0). Danach wird die vorgefertigte Experimentplanung der fiktiven Schülerin Lea gelesen. Anschließend wird erneut das Testinstrument zum Erfassen der Kompetenz zum Planen eines Experiments ausgefüllt und Angaben zum Cognitive Load gemacht (MZP 1). Folgend wird das Text-Bild Feedback gelesen und das Testinstrument zum Erfassen der Kompetenz zum Planen eines Experiments ausgefüllt und Angaben zum Cognitive Load gemacht (MZP 2). Nach dem feedbackgestützten Experimentplanen folgten erneut das Ausfüllen des Testinstruments zum Erfassen der Kompetenz zum Planen eines Experiments und die Angaben zum Cognitive Load (MZP 3). Mit einigen Schüler:innen werden anschließend Leitfadeninterviews zur Arbeit mit dem Feedback geführt. Die Ergebnisse der dritten Untersuchung zeigen, dass der Cognitive Load im Verlauf der Lerngelegenheit sinkt und nach der Arbeit mit dem Feedback am niedrigsten ist. Die Kompetenz zum Planen eines Experiments steigt im Verlauf der Lerngelegenheit und ist nach der Arbeit mit dem Feedback am höchsten. Die Interviewdaten stützen die Annahme, dass das Text-Bild Feedback hinsichtlich Cognitive Load und Lernerfolg als ein effektives Lernunterstützungsmaterial charakterisiert werden kann.

# 4. Untersuchungsplan

## Untersuchung 3



## Untersuchung 2



## Untersuchung 1

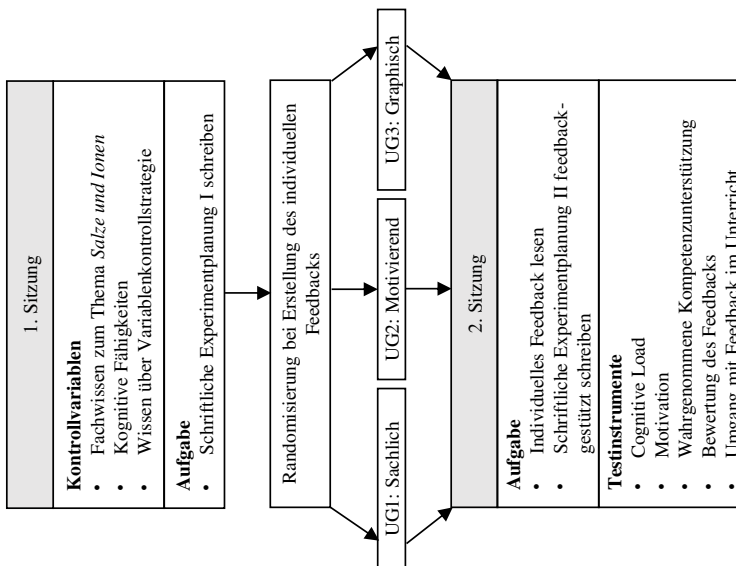


Abbildung 3: Übersicht über die Designs der drei Untersuchungen

### 5. Erste Untersuchung

Zur Überprüfung von Feedbackmerkmalen, die beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie als unterstützend eingeschätzt werden sowie der Untersuchung des Einflusses von Feedback mit unterschiedlichen gestalterischen Schwerpunkten auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale, wurde eine experimentelle Untersuchung durchgeführt. Es wurden drei Feedbackversionen, das sachliche Feedback (potenziell Cognitive Load reduzierend), das motivierende Feedback (potenziell Motivation steigernd) und das graphische Feedback (potenziell Cognitive Load reduzierend und Motivation steigernd) kontrastiert und das wahrgenommene unterstützende Potenzial theoretisch abgeleiteter Feedbackmerkmale sowie der Einfluss auf verschiedene Schüler:innenmerkmale betrachtet.

#### 5.1 Methodik

##### 5.1.1 Untersuchungsdesign

Die Datenerhebung umfasst zwei aufeinanderfolgende Sitzungen im Abstand von einer Woche und orientiert sich am Prozess formativen Assessments (siehe Kapitel 2.2.2). In beiden Sitzungen stellt das Planen von Experimenten den inhaltlichen Untersuchungsgegenstand sowie das Lernziel gemäß formativen Assessments (siehe Abbildung 2) dar. Die Experimentplanungen wurden im Sinne der Erhebung auf dafür vorbereiteten Forscherbögen (Scheuermann, 2017) verschriftlich und am Ende der Sitzung eingesammelt. Die Experimentplanungen werden mit Hilfe eines Bewertungsschemas bewertet, um die Auswahl passender Daten für die Interpretation vorzunehmen. Bei der Bewertung bzw. Interpretation wurde auf die Vollständigkeit der Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geachtet. Basierend auf der Bewertung wurde das individuelle Feedback für die Schüler:innen ausgestellt, welches sie zu Beginn der zweiten Sitzung erhalten haben. Nachdem das Feedback gelesen wurde, haben die Schüler:innen ein weiteres Experiment geplant und auf dem Forscherbogen verschriftlicht, bei welchem das Feedback berücksichtigt werden sollte.

Zu Beginn der Sitzungen und zwischen den Aufgabenabschnitten wurden die Aufgabenstellungen durch die Testleitung erklärt. Die zur Verfügung stehende Zeit wurde den Schüler:innen vor jedem neuen Aufgabenabschnitt mitgeteilt. Jeder Aufgabenabschnitt wurde im Klassenverbund begonnen und das Testheft wurde insgesamt in Einzelarbeit bearbeitet.

Die thematische Ausrichtung der Datenerhebung erfolgte auf Grundlage des Kernlehrplans für das Fach Chemie an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen

## 5. Erste Untersuchung

(Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Das Thema „Salze und Ionen“ des Inhaltsfeldes 6 wird regulär in der 8. Jahrgangsstufe unterrichtet. Aufgrund des Entfalls von Unterricht während der Corona Pandemie kam es jedoch zu Verzug in den Inhaltsfeldern, sodass die Datenerhebung in der 9. Jahrgangsstufe durchgeführt wurde.

**1. Sitzung der Datenerhebung:** Zunächst haben die Schüler:innen einen Fachwissenstest zum Thema „Salze und Ionen“, den kognitiven Fähigkeitstest (N1-Subskala zur Figurenklassifikation) (Heller & Perleth, 2000) und einen Test zum Wissen über die Variablenkontrollstrategie (Nehring, 2014) ausgefüllt. Anschließend haben die Schüler:innen ein Experiment zum Vergleich der Leitfähigkeit einer Kochsalz- und einer Zuckerlösung geplant und hierbei die Variablenkontrollstrategie angewendet. Die Frage und die Hypothese, die dem zu planenden Experiment zugrunde liegen, waren vorgegeben. Die Frage lautete „Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?“. Hierzu wurde folgende Hypothese angegeben „Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckerlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.“. Die Experimentplanungen wurden auf den Forscherbögen verschriftlicht und am Ende der Stunde im Rahmen des gesamten Testheftes eingesammelt.

**2. Sitzung der Datenerhebung:** Zu Beginn der zweiten Sitzung haben die Schüler:innen ihr individuelles schriftliches Feedback erhalten und dieses durchgelesen. Im Anschluss daran haben die Schüler:innen ein Experiment zum Vergleich der Löslichkeit von Kochsalz und Zucker in destilliertem Wasser geplant und hierbei die Variablenkontrollstrategie angewendet. Die Frage und die Hypothese, die dem zu planenden Experiment zugrunde liegen, wurden vorgegeben. Die Frage lautete „Inwiefern unterscheiden sich Kochsalz und Zucker in ihrer Löslichkeit in destilliertem Wasser?“. Hierzu wurde folgende Hypothese angegeben „In 100 mL destilliertem Wasser kann weniger Kochsalz gelöst werden, da es aus Ionen besteht, welche in einem Ionengitter angeordnet sind und eine stabile Struktur haben.“. Die Experimentplanungen wurden auf den Forscherbögen verschriftlicht und am Ende der Stunde im Rahmen des gesamten Testheftes eingesammelt. Folgend haben die Schüler:innen den Cognitive Load (Kalyuga et al., 1999; Leppink et al., 2013; Paas, 1992), die Motivation (Wilde et al., 2009) und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung (Bürgermeister et al., 2011) eingeschätzt. Anschließend haben die Schüler:innen ihr individuell erhaltenes Feedback bewertet (Eigenentwicklung) und aufgeschrieben, welche Facetten an dem

Feedback schon gut waren und welche noch verbessert werden sollten. Abschließend wurden Angaben zum Umgang mit Feedback in ihrem Chemieunterricht (Reiss et al., 2016) gemacht.

### 5.1.2 Stichprobe

Die experimentelle Untersuchung wurde mit insgesamt  $N = 136$  Schüler:innen der 9. Jahrgangsstufe an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Durch listenweisen Fallausschluss werden  $N = 98$  vollständige Datensätze in den Analysen verwendet. Vor der standardisierten Erstellung des individuellen Feedbacks zu den von den Schüler:innen geplanten Experimenten wurden diese vollständig randomisiert einer der drei Untersuchungsgruppen und damit einer der drei Feedbackversionen zugeordnet. Das *sachlich* genannte Feedback haben  $n = 33$ , das *motivierend* genannte Feedback  $n = 33$  und das *graphisch* genannte Feedback  $n = 32$  Schüler:innen erhalten. Die Schulleitungen, die Lehrkräfte sowie die Eltern der Schüler:innen haben zur Durchführung der Datenerhebung eingewilligt. An den teilnehmenden Schulen wurde das Fach Chemie ab der 7. Klasse unterrichtet. Die Datenerhebung fand in den regulären Chemieunterrichtsstunden statt, an denen die Schüler:innen aufgrund ihrer Schulpflicht teilnehmen mussten. Der zeitliche Umfang einer jeden Testsitzung wurde trotz unterschiedlich langer Unterrichtsstunden gleich gehalten.

### 5.1.3 Feedback

Das individuelle, lernbegleitende Feedback wird basierend auf der Bewertung der Experimentplanung mithilfe eines Bewertungsschemas ausgestellt (siehe Kapitel 5.1.5). Das Feedback wurde den Schüler:innen in schriftlicher Form ausgeteilt und enthält immer Informationen über das Lernziel, das durch das Bearbeiten der Aufgabe erreicht werden soll, über den Lernstand der Schüler:innen und über nächste Schritte, die eingeleitet werden können, um das Lernziel in vollem Umfang zu erreichen. Abhängig von der Untersuchungsgruppe wird die gestalterische Aufbereitung der rückgemeldeten Informationen variiert. Die im theoretischen Hintergrund beschriebenen Feedbackmerkmale der Kriterien Gestaltung und Inhalt (siehe Tabelle 1) wurden in allen drei Feedbackversionen gleichermaßen umgesetzt, um das wahrgenommene unterstützende Potenzial überprüfen zu können. Das Feedback für alle drei Versionen wurde somit schriftlich von der Testleitung erstellt. Alle Versionen enthalten Informationen zu den Lernzielen, zum Lernstand und zu den nächsten Schritten. Dabei wird darauf geachtet, dass der Informationsumfang zur jeweiligen Aufgabe passt. Zudem liefern alle drei Versionen Hinweise, wie das Lernziel der Aufgabe erreicht werden kann, indem in den nächsten Schritten jeweils Beispiele zur Verbesserung gegeben werden.

## 5. Erste Untersuchung

Alle drei Feedbackversionen zeichnen sich außerdem dadurch aus, dass sie die Schüler:innen direkt ansprechen und ein positives, bestärkendes Gefühl vermitteln. Die sprachliche Verständlichkeit wird durch die Verwendung von Formulierungen, die aus dem Chemieunterricht bekannt sein sollten, sichergestellt. Schließlich nehmen alle drei Feedbackversionen konkreten Bezug zur bearbeiteten Aufgabe. Die variierte gestalterische Ausgestaltung des Inhalts der drei Feedbackversionen wird im Folgenden beschrieben. Die Beschreibung des rückgemeldeten Inhalts der Feedbackversionen wird basierend auf der Darstellung der Bewertung der Experimentplanungen in Kapitel 5.1.5 vorgenommen.

Die erste Feedbackversion, das sogenannte sachliche Feedback, enthält sachlich formulierte Informationen zu Lernstand und nächsten Schritten in Textform. Der Fokus liegt auf einer sachbezogenen Rückmeldung fachlicher Inhalte, um die kognitive Belastung der Schüler:innen so gering wie möglich zu halten.

Die als motivierendes Feedback bezeichnete Feedbackversion zeichnet sich durch motivierend formulierte Informationen zu Lernstand und nächsten Schritten aus. Ein abschließender motivierender Text, der hervorhebt, was in der Experimentplanung besonders gut gelungen ist, komplettiert diese Feedbackversion. Der motivierende Text umfasst nicht mehr als vier kurze Sätze, um eine motivierende Funktion des Feedbacks zu gewährleisten. Die Unterschiede zwischen dem sachlichen und dem motivierenden Feedback beziehen sich auf den Ton der rückgemeldeten Informationen.

Die als graphisches Feedback bezeichnete Feedbackversion ist durch eine graphische Darstellung der Informationen zu Lernstand und nächsten Schritten gekennzeichnet. Hier wird zunächst nur genannt, zu welchem Merkmal der Experimentplanung Feedback gegeben wird. Die eigentliche Feedbackinformation ist dem Tachometer rechts davon zu entnehmen. Je nach Position der Tachonadel zählt ein Kriterium der Variablenkontrollstrategie zum Lernstand oder zu den nächsten Schritten. Diese graphische Aufbereitung zielt darauf ab, die kognitive Belastung und die Motivation zu adressieren.

Die Abbildung 4, die Abbildung 5 und die Abbildung 6 zeigen die drei Feedbackversionen. Die Feedbackversionen sind so gestaltet, dass der Ausstellende die entsprechenden Informationen zeilenweise löschen kann. Somit werden unter dem Lernstand und den nächsten Schritten gemeinsam acht Merkmale der Experimentplanung rückgemeldet. Das graphische Feedback (siehe Abbildung 6) ist so angelegt, dass nur der Pfeil im Tachometer stehen gelassen wird, der auf die erreichte Punktzahl des jeweiligen Merkmals zeigt. Die übrigen zwei Pfeile können gelöscht werden.

## FEEDBACKBOGEN



**Lernziel ist, dass deine Experimentplanung folgende Merkmale enthält:**

- ✓ Die Vermutung wird vollständig überprüft.
- ✓ Das Phänomen wird richtig beschrieben.
- ✓ Es wird ein Messinstrument eingesetzt.
- ✓ Der Faktor wird richtig benannt.
- ✓ Der Faktor wird mit genauen Angaben beschrieben.
- ✓ Der Faktor wird unter Angabe einer Messdauer variiert.
- ✓ Mindestens zwei störende Einflussfaktoren werden konstant gehalten.
- ✓ Eine Wiederholung und ein Parallelansatz des Experiments werden beschrieben.



**In deiner Experimentplanung...**

- ...untersuchst du zwei Ausprägungen des Faktors (Kochsalz und Zucker), somit ist deine Vermutung vollständig überprüft.
- ...beschreibst du die Leitfähigkeit von Lösungen als Phänomen.
- ...überprüfst du die Leitfähigkeit von Lösungen mit einem Leitfähigkeitsmessgerät.
- ...benennst du den zu untersuchenden Stoff (Kochsalz und Zucker) als Faktor.
- ...beschreibst du den Faktor mit einer genauen Angabe, indem du z.B. die Masse (z.B. 10 g) angibst.
- ...variiert du den Faktor nach einer Messdauer, von z.B. 1 Minute.
- ...berücksichtigst du mehr als zwei störende Einflussfaktoren, z.B. das Volumen des destillierten Wassers (z.B. 50 mL) und die Größe des Becherglases (z.B. 100 mL).
- ...wiederholst du das Experiment und veränderst das Experiment, indem du z.B. eine andere Masse des Stoffes verwendest.



**Bei zukünftigen Experimentplanungen solltest du beachten, dass du...**

- ...zwei Ausprägungen des Faktors (Kochsalz und Zucker) untersuchst, erst dann ist deine Vermutung vollständig überprüfbar.
- ...die Leitfähigkeit von Lösungen als Phänomen benennst.
- ...die Leitfähigkeit von Lösungen mit einem Leitfähigkeitsmessgerät überprüfst.
- ...den zu untersuchenden Stoff (Kochsalz und Zucker) als Faktor benennst.
- ...den zu untersuchenden Faktor mit einer genauen Angabe beschreibst, indem du z.B. die Masse (z.B. 10 g) angibst.
- ...den zu untersuchenden Faktor nach einer Messdauer variiert, von z.B. 1 Minute.
- ...mehr als zwei störende Einflussfaktoren berücksichtigst, z.B. das Volumen des destillierten Wassers (z.B. 50 mL) und die Größe des Becherglases (z.B. 100 mL).
- ...das Experiment und das veränderte Experiment wiederholst, indem du z.B. eine andere Masse des Stoffes verwendest.

Abbildung 4: Sachliches Feedback der ersten Untersuchung

## 5. Erste Untersuchung

# FEEDBACKBOGEN



Lernziel ist, dass deine Experimentplanung folgende Merkmale enthält:	
✓	Die Vermutung wird vollständig überprüft.
✓	Das Phänomen wird richtig beschrieben.
✓	Es wird ein Messinstrument eingesetzt.
✓	Der Faktor wird richtig benannt.
✓	Der Faktor wird mit genauen Angaben beschrieben.
✓	Der Faktor wird unter Angabe einer Messdauer variiert.
✓	Mindestens zwei störende Einflussfaktoren werden konstant gehalten.
✓	Eine Wiederholung und ein Parallelansatz des Experiments werden beschrieben.



In deiner Experimentplanung...	
...	untersuchst du zwei Ausprägungen des Faktors (Kochsalz und Zucker), somit ist deine Vermutung vollständig überprüft.
...	beschreibst du die Leitfähigkeit von Lösungen als Phänomen.
...	überprüfst du die Leitfähigkeit von Lösungen mit einem Leitfähigkeitsmessgerät.
...	benennst du den zu untersuchenden Stoff (Kochsalz und Zucker) als Faktor.
...	beschreibst du den Faktor mit einer genauen Angabe, indem du z.B. die Masse (z.B. 10 g) angibst.
...	variiert du den Faktor nach einer Messdauer, von z.B. 1 Minute.
...	berücksichtigst du mehr als zwei störende Einflussfaktoren, z.B. das Volumen des destillierten Wassers (z.B. 50 mL) und die Größe des Becherglases (z.B. 100 mL).
...	wiederholst du das Experiment und veränderst das Experiment, indem du z.B. eine andere Masse des Stoffes verwendest.



Bei zukünftigen Experimentplanungen solltest du beachten, dass du...	
...	zwei Ausprägungen des Faktors (Kochsalz und Zucker) untersuchst, erst dann ist deine Vermutung vollständig überprüfbar.
...	die Leitfähigkeit von Lösungen als Phänomen benennst.
...	die Leitfähigkeit von Lösungen mit einem Leitfähigkeitsmessgerät überprüfst.
...	den zu untersuchenden Stoff (Kochsalz und Zucker) als Faktor benennst.
...	den zu untersuchenden Faktor mit einer genauen Angabe beschreibst, indem du z.B. die Masse (z.B. 10 g) angibst.
...	den zu untersuchenden Faktor nach einer Messdauer variiert, von z.B. 1 Minute.
...	mehr als zwei störende Einflussfaktoren berücksichtigst, z.B. das Volumen des destillierten Wassers (z.B. 50 mL) und die Größe des Becherglases (z.B. 100 mL).
...	das Experiment und das veränderte Experiment wiederholst, indem du z.B. eine andere Masse des Stoffes verwendest.

Abbildung 5: Motivierendes Feedback der ersten Untersuchung



# FEEDBACKBOGEN



Lernziel ist, dass deine Experimentplanung folgende Merkmale enthält:

✓	Die Vermutung wird vollständig überprüft.
✓	Das Phänomen wird richtig beschrieben.
✓	Es wird ein Messinstrument eingesetzt.
✓	Der Faktor wird richtig benannt.
✓	Der Faktor wird mit genauen Angaben beschrieben.
✓	Der Faktor wird unter Angabe einer Messdauer variiert.
✓	Mindestens zwei störende Einflussfaktoren werden konstant gehalten.
✓	Eine Wiederholung und ein Parallelansatz des Experiments werden beschrieben.

✓ Merkmal der Experimentplanung	Bewertung deiner Experimentplanung
Du variiert den <b>Faktor</b> in verschiedenen Ausprägungen: Kochsalz und Zucker	In einer Ausprägung variiert Nicht variiert 0  2 In zwei Ausprägungen variiert
Du beschreibst das <b>Phänomen</b> : Leitfähigkeit von Lösungen	Falsch beschrieben Nicht beschrieben 0  2 Richtig beschrieben
Du setzt ein <b>Messgerät</b> ein: Leitfähigkeitsmessgerät	Unpassendes Messgerät Kein Messgerät 0  2 Passendes Messgerät
Du benennst den <b>Faktor</b> : Stoff (= Kochsalz und Zucker)	Falsch benannt Nicht benannt 0  2 Richtig benannt
Du beschreibst den <b>Faktor</b> mit genauen Angaben: z.B. verwendete Masse = 10 g	Mit ungenauer Angabe Ohne Angabe 0  2 Mit genauer Angabe
Du variiert den <b>Faktor</b> nach einer Messdauer: z.B. 1 Minute	Ohne Messdauer variiert Nicht variiert 0  2 Mit Messdauer variiert
Du berücksichtigst <b>störenden Einflussfaktoren</b> : z.B. Volumen des destillierten Wassers = 50 mL und Größe des Becherglases = 100 mL	Ein Einflussfaktor berücksichtigt Kein Einflussfaktor berücksichtigt 0  2 Zwei Einflussfaktoren berücksichtigt
Du beschreibst <b>Kontrollversuche</b> : Wiederholen des Experimentes und beschreiben eines veränderten Experimentes, z.B. Masse des Stoffes = 20 g	Ein Kontrollversuch Kein Kontrollversuch 0  2 Zwei Kontrollversuche

Abbildung 6: Graphisches Feedback der ersten Untersuchung

## 5. Erste Untersuchung

### **5.1.4 Der Forscherbogen zur schriftlichen Experimentplanung**

Die Experimentplanung, welche die Grundlage für das Ausstellen des Feedbacks ist, wird auf dem Forscherbogen verschriftlicht. Besonders schriftliche Aufgaben eignen sich, um den Lernstand der Schüler:innen zu ermitteln. Durch die schriftliche Bearbeitung können die Schüler:innen die Bewertung ihrer Aufgabe und das erhaltene Feedback besser nachvollziehen (Brookhart, 2010). Zudem eignet sich die Methode des Protokollierens für das Erfassen prozessbezogener Kompetenzen (Emden, 2011). Der Forscherbogen (Scheuermann, 2017) stellt in der vorgestellten Untersuchung eine Adaption der Protokollmethode dar. Zunächst sind auf dem Forscherbogen die dem Experiment zugrunde liegende Frage und Vermutung aufgeführt. Darunter ist ein Feld, um die verwendeten Materialien und Chemikalien einzutragen. Anschließend folgt eine Tabelle, in welcher die zu beachtenden Sicherheitsmaßnahmen angekreuzt werden sollen. Zum Abschluss steht ein Textfeld zur Verfügung, in welchem die Experimentplanung verschriftlicht werden soll. Der Forscherbogen dient neben dem Erfassen prozessbezogener Kompetenzen als Überprüfung einer Auseinandersetzung mit dem Feedback. Nur bei einer tiefergehenden Auseinandersetzung mit dem Feedback und anschließender Reflexion der Inhalte kann ein Experiment geplant werden, das die Variablenkontrollstrategie berücksichtigt. Diese Strategie ist den Schüler:innen nicht aus dem Unterricht geläufig. Somit kann erwartet werden, dass das Anwenden dieser Strategie erst nach einer Reflexion des Feedbacks geschieht.

**EXPERIMENTPLANUNG**

Frage				
Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?				
Vermutung				
Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckertlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.				
Materialien	Chemikalien			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> </ul>			
Sicherheitsmaßnahmen				
Schutzbrille tragen	Haare zusammenbinden	Laborkittel tragen	Den Raum lüften	Auf Brandschutz achten
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 7: Forscherbogen zur schriftlichen Erhebung der Experimentplanung

Wie die Experimentplanung bewertet und basierend darauf der rückgemeldete Inhalt des Feedbacks bestimmt wird, wird im folgenden Kapitel beschrieben.

**5.1.5 Bewertungsschema für die Experimentplanung**

Das Bewertungsschema (Arnold, 2015; Scheuermann, 2017) beinhaltet die Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie und gibt an, welche Kriterien erfüllt werden müssen, um 0, 1 oder 2 Punkte je Kriterium zu erreichen. Wird ein Kriterium gar nicht oder nur teilweise in der Experimentplanung erfüllt, wird dafür 0 oder 1 Punkt vergeben. Wird ein Kriterium in vollem Umfang erfüllt, wird dieses mit 2 Punkten bewertet. Da nicht für jede der drei Möglichkeiten der Punktevergabe ein zu erreichendes Kriterium definiert war, wurde das Bewertungsschema nochmals stärker ausdifferenziert.

## 5. Erste Untersuchung

Tabelle 3: Bewertungsschema für die Bewertung der Experimentplanung

Merkmal der Experimentplanung	Punkte		
	0	1	2
(1) Überprüfung der Hypothese	Die Vermutung wird nicht überprüft.	Die Vermutung wird teilweise überprüft.	Die Vermutung wird vollständig überprüft.
(2) Benennung der abhängigen Variablen	Die abhängige Variable wird nicht benannt.	Die abhängige Variable wird falsch benannt.	Die abhängige Variable wird richtig benannt.
(3) Messung der abhängigen Variablen	Die abhängige Variable wird mit keinem Messinstrument gemessen.	Die abhängige Variable wird mit einem unpassenden Messinstrument gemessen.	Die abhängige Variable wird mit dem passenden Messinstrument gemessen.
(4) Benennung der unabhängigen Variablen	Die unabhängige Variable wird nicht benannt.	Die unabhängige Variable wird falsch benannt.	Die unabhängige Variable wird richtig benannt.
(5) Angaben zur unabhängigen Variablen	Die unabhängige Variable wird ohne weitere Angaben aufgeführt.	Die unabhängige Variable wird mit ungenauen Angaben beschrieben.	Die unabhängige Variable wird mit genauen Angaben beschrieben.
(6) Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer	Die unabhängige Variable wird ohne Angabe einer Messdauer gemessen.	Die unabhängige Variable wird unter ungenauer Angabe einer Messdauer gemessen.	Die unabhängige Variable wird unter Angabe einer genauen Messdauer gemessen.
(7) Konstant halten von Störvariablen	Es werden keine Störungen konstant gehalten.	Es wird eine Störung konstant gehalten.	Es werden mindestens zwei Störungen konstant gehalten.
(8) Beschreibung von Kontrollversuchen	Es wird kein Kontrollversuch beschrieben.	Es wird eine Wiederholung oder ein Parallelansatz des Experiments beschrieben.	Es werden eine Wiederholung und ein Parallelansatz des Experiments beschrieben.

Ein Experiment ist unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie dann in vollem Umfang geplant, wenn die Vermutung vollständig überprüft wird (1). Dies wird durch das Variieren der unabhängigen Variable in mindestens zwei Ausprägungen sichergestellt. Außerdem müssen die abhängige und unabhängige Variable richtig benannt werden (2) (4). Weiterführend wird gefordert, dass die unabhängige Variable mit

genauen Angaben beschrieben wird (5). Das korrekte Messinstrument muss verwendet (3) und unter Angabe einer Messdauer angewendet werden (6). Um kontrollierte Bedingungen zu schaffen, müssen mindestens zwei Störvariablen konstant gehalten werden (7). Außerdem sind eine Wiederholung des Hauptexperiments und die Durchführung eines Parallelansatzes notwendig (8).

Für die Betrachtung der Qualität der Experimentplanungen hinsichtlich der Anwendung der Variablenkontrollstrategie und damit des Erreichens kontrollierter Bedingungen für das Experiment wurden fünf Qualitätsstufen deduktiv aus der Theorie abgeleitet und bereits bei Scheuermann (2017) eingesetzt. Die Qualitätsstufen ergeben sich aus Kombinationen von Kriterien aus Tabelle 3.

Tabelle 4: Qualitätsstufen der Experimentplanung hinsichtlich der Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Scheuermann, 2017)

Qualitätsstufe	Beschreibung
5	Experiment beinhaltet eine Variation unter stark kontrollierten Bedingungen (Messdauer und mehr als zwei Störvariablen).
4	Experiment beinhaltet eine Variation unter kontrollierten Bedingungen (Messdauer und ein oder zwei Störvariablen).
3	Experiment beinhaltet eine Variation nach festgelegter Messdauer.
2	Experiment beinhaltet eine unkontrollierte Variation.
1	Experiment beinhaltet keine Variation der unabhängigen Variable.

Weist eine Experimentplanung stark kontrollierte Bedingungen auf, wird diese der Qualitätsstufe 5 zugeordnet. Experimentplanungen auf dieser Stufe weisen eine Variation der unabhängigen Variable unter Angabe einer Messdauer und dem Konstanthalten von mindestens zwei Störvariablen auf. Die Qualitätsstufe 4 beschreibt eine Experimentplanung unter kontrollierten Bedingungen, wenn die abhängige Variable variiert wird und die Messdauer angegeben sowie eine Störvariable konstant gehalten wird. In Experimentplanungen der Qualitätsstufe 3 wird die unabhängige Variable variiert und eine Messdauer angegeben. Mögliche Störvariablen werden nicht konstant gehalten. Diese Experimentplanungen beinhalten eine Variation nach festgelegter Messdauer. Die Qualitätsstufe 2 beschreibt Experimentplanungen die eine unkontrollierte Variation beinhalten. Hierbei wird die unabhängige Variable in ihren Ausprägungen variiert aber keine weiteren Variablen konstant gehalten. In diesem Fall wird die Variablenkontrollstrategie nicht adäquat angewendet. Wird in einer Experimentplanung lediglich eine Ausprägung der unabhängigen Variable untersucht, wird diese der Qualitätsstufe 1 zugeordnet und als Experiment ohne Variation klassifiziert. Da in

## 5. Erste Untersuchung

diesem Fall die Variablenkontrollstrategie nicht angewendet wird, kann die Hypothese mithilfe des geplanten Experiments nicht untersucht werden.

Basierend auf der Bewertung der Experimentplanung mit Hilfe der Kriterien aus Tabelle 3 wird der Inhalt des Feedbacks individuell für die Schüler:innen dargeboten. Die Merkmale, für die die Schüler:innen 2 Punkte erhalten haben, wurden als Lernstand rückgemeldet, da dieses Merkmal bereits in vollem Umfang in der Experimentplanung berücksichtigt wurde. Alle anderen Merkmale, für die 0 oder 1 Punkt vergeben wurde, wurden als nächste Schritte aufgeführt. Diese Merkmale wurde gar nicht oder nur teilweise in der Experimentplanung berücksichtigt und sollten bei erneuter Planung eines Experiments Anwendung finden. Die Feedbackinformationen zum Lernstand wurden mit dem Satzanfang „In deiner Experimentplanung...“ und die Informationen zu den nächsten Schritten wurden mit dem Satzanfang „Bei zukünftigen Experimentplanungen solltest du beachten, dass du...“ eingeleitet. Um die Schüler:innen nicht mit schwierigem Fachvokabular, wie beispielsweise abhängige und unabhängige Variable, zu überfordern, wurden diese Wörter in Phänomen und Faktor umbenannt. Tabelle 5 zeigt die Grundlage für den Inhalt des Feedbacks.

Tabelle 5: Rückmeldesätze für den Lernstand und die nächsten Schritte

Merkmal der Experimentplanung	Feedbackinformation	
	Lernstand	Nächste Schritte
(1) Überprüfung der Hypothese	...untersuchst du zwei Ausprägungen des Faktors (A und B), somit ist deine Vermutung vollständig überprüft.	...zwei Ausprägungen des Faktors (A und B) untersuchst, erst dann ist deine Vermutung vollständig überprüfbar.
(2) Benennung der abhängigen Variablen	...beschreibst du C als Phänomen.	...C als Phänomen benennst.
(3) Messung der abhängigen Variablen	...überprüfst du C mit einem D.	...C mit einem D überprüfst.
(4) Benennung der unabhängigen Variablen	...benennst du den zu untersuchenden Stoff (A und B) als Faktor.	...den zu untersuchenden Stoff (A und B) als Faktor benennst.
(5) Angaben zur unabhängigen Variablen	...beschreibst du den Faktor mit einer genauen Angabe, indem du z. B. E angibst.	...den zu untersuchenden Faktor mit einer genauen Angabe beschreibst, indem du z. B. E angibst.
(6) Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer	...variiert du den Faktor nach einer Messdauer, von z. B. F.	...den zu untersuchenden Faktor nach einer Messdauer variiert, von z. B. F.
(7) Konstant halten von Störvariablen.	...berücksichtigst du mehr als zwei störende Einflussfaktoren, z. B. G und H.	...mehr als zwei störende Einflussfaktoren berücksichtigst, z. B. G und H.
(8) Beschreibung von Kontrollversuchen	...wiederholst du das Experiment und veränderst das Experiment, indem du z. B. J.	...das Experiment und das veränderte Experiment wiederholst, indem du z. B. J.

Hinweis: Die Buchstaben A bis J stehen für konkrete Beispiele des betreffenden Experimentes.

### 5.1.6 Testinstrumente

Zur Überprüfung von Feedbackmerkmalen, die beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie als unterstützend eingeschätzt werden sowie der Untersuchung des Einflusses von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale, wurde die zuvor beschriebene Untersuchung durchgeführt. Nachfolgend werden die eingesetzten Testinstrumente berichtet.

## 5. Erste Untersuchung

Tabelle 6: Übersicht über die Testinstrumente der ersten Untersuchung

Testzeitpunkt	Gesamtdauer [Minuten]	Dauer Testabschnitte [Minuten]	Variable	Testinstrument und Quelle
1. Sitzung	64	20	Fachwissen	Zum Thema „Salze und Ionen“ (van Vorst, unveröffentlicht)
		9	Kognitive Fähigkeiten	Kognitiver Fähigkeitstest für 9. Klassen - Subskala N1 Figurenklassifikation von Heller and Perleth (2000)
		20	Variablenkontrollstrategie	Wissen über die Variablenkontrollstrategie adaptierter Test nach Nehring (2014).
		15	Experimentplanung	Experiment (Sieve et al., 2022) und Forscherbogen (Scheuermann, 2017)
2. Sitzung	50	25	Lesen des Feedbacks	Experiment (Sieve et al., 2022)
			Experimentplanung	Forscherbogen (Scheuermann, 2017)
		15	Bewertung des Feedbacks	Hinsichtlich unterstützender Merkmale, Eigenentwicklung nach u.a. Brookhart (2010), Hattie & Timperley (2007), Wisniewski et al. (2019)
			Wahrgenommene Kompetenzzunterstützung	Schülerfragebogen von Bürgermeister et al. (2011)
			Umgang mit Feedback im Chemieunterricht	Items aus der PISA-Studie (2015); Reiss et al. (2016)
		10	Motivation	Kurzskala intrinsischer Motivation von Wilde et al. (2009)
		Cognitive Load	Extraneous Cognitive Load Items von Leppink et al. (2013) und wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit (Kalyuga et al., 1999) sowie investierte Denkanstrengung (Paas, 1992)	



**Fachwissen:** Zur Erhebung des Fachwissens wurde ein Testinstrument eingesetzt, das in Anlehnung an die zu planenden Experimente passende fachliche Inhalte abfragt. Hierzu zählen die Bildung von Ionen, die Eigenschaften von Salzen und das Aufstellen von Verhältnisformeln. Der Test beinhaltet 20 Items im Multiple-Choice-Single-Select Format. Es soll aus vier Antwortmöglichkeiten die eine richtige Antwort ausgewählt werden. Im Rahmen der zuvor vorgestellten Untersuchung wird eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .68$  berichtet (Moosbrugger & Kelava, 2020). Da der Test basierend auf den Inhalten von Schulbüchern und des Kernlehrplans entwickelt wurde, kann die Validität gewährleistet werden. Die Objektivität ist dadurch sichergestellt, dass für die Durchführung und Auswertung ein Manual herangezogen wurde. Für weitere Erhebungen wird ein Item des Tests ausgeschlossen, da Lehrpersonen während der Datenerhebung der ersten Untersuchung auf die missverständliche Formulierung aufmerksam gemacht haben. Für weitere Erhebungen wird eine finale Version bestehend aus 19 Items im Multiple-Choice-Single-Select Format eingesetzt.

**Kognitive Fähigkeiten:** Zur Erhebung der kognitiven Fähigkeiten wurde der Kognitive Fähigkeitstest von Heller und Perleth (2000) eingesetzt. Es wurde die Version A der Subskala N1 der Figurenklassifikation für 9. Klassen verwendet. Bei dem Format der Figurenklassifikation werden drei Figuren abgebildet, die gemeinsame Merkmale aufweisen. Aus fünf zur Verfügung stehenden weiteren Figuren sollen die Schüler:innen die eine Figur identifizieren, die ebenfalls die Merkmale aufweist und somit zu den anderen gezählt werden kann. Die Subskala N1 besteht aus 25 Items und ist als Speed-Test konstruiert, sodass die Schüler:innen zur Bearbeitung nur 9 Minuten Zeit haben. Heller und Perleth (2000) berichten für die N1 Skala eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .92$ . Im Rahmen der ersten Untersuchung konnte eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .85$  ermittelt werden.

**Wissen über die Variablenkontrollstrategie:** Da die Experimentplanung hinsichtlich der Vollständigkeit der Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie ausgewertet und basierend darauf das individuelle lernbegleitende Feedback ausgestellt wird, ist es notwendig, das Wissen der Schüler:innen über die Variablenkontrollstrategie zu erfragen. Hierzu wurden sechs Items des Variablenkontrollstrategie-Tests von Nehring (2014) eingesetzt. Die Items sind im Multiple-Choice-Single-Select Format konzipiert. Es soll aus vier Antwortmöglichkeiten die eine richtige Antwort ausgewählt werden. Drei Items fordern die Schüler:innen auf, eine für das beschriebene Experiment passende Hypothese auszuwählen. Die drei weiteren Items leiten die Schüler:innen dazu an, den für das beschriebene Experiment passendsten

## 5. Erste Untersuchung

experimentellen Ansatz zu wählen. Da diese Konstrukte für die vorliegende Untersuchung von großer Bedeutung sind, wurden für das Auswählen einer passenden Hypothese und für das Auswählen des passenden experimentellen Ansatzes jeweils zwei weitere Items im selben Format entwickelt. Ein wichtiges Merkmal einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie ist das Durchführen von Kontrollexperimenten, die eine leicht veränderte Version des Hauptexperimentes darstellen. Für dieses Merkmal wurden drei Items selbstständig entwickelt. Die Schüler:innen müssen einen passenden Ansatz wählen, der eine Veränderung des Hauptexperimentes darstellt. Alle dreizehn Items zum Wissen über die Variablenkontrollstrategie wurden in einer Pilotierung eingesetzt und überprüft. An der Pilotierung haben  $N = 41$  Schüler:innen von Gymnasien und Gesamtschulen der Jahrgangsstufe 9 in Nordrhein-Westfalen teilgenommen. Es kann eine noch akzeptable Reliabilität von  $\alpha = .52$  festgestellt werden. Durch den Ausschluss von zwei Items würde die Reliabilität auf  $\alpha = .57$  steigen. Da nicht vorschnell Items ausgeschlossen werden sollten, wurden die Aufgabenstellungen und Antwortmöglichkeiten aller Items erneut gesichtet und angepasst. Der vollständige Test wurde in der ersten Untersuchung eingesetzt. Im vorliegenden Projekt kann für alle 13 Items eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .70$  berichtet werden.

**Experimentplanung:** Die Experimentplanung wurde anhand des Bewertungsschemas zu den Merkmalen der Variablenkontrollstrategie kodiert (siehe Kapitel 5.1.5). Für die Berechnung der Reliabilität wurden die Merkmale der Experimentplanung als Items einer offenen Aufgabe betrachtet. Die Reliabilität der Experimentplanung der ersten Sitzung beträgt  $\alpha = .37$  und der Experimentplanung der zweiten Sitzung  $\alpha = .66$ . Die geringe Reliabilität der ersten Sitzung kann damit erklärt werden, dass die Schüler:innen die Merkmale der Variablenkontrollstrategie noch nicht kannten und sie daher in ihrer Vollständigkeit nicht anwenden konnten. Für die zweite Sitzung liegt eine angemessene Reliabilität vor.

**Bewertung des Feedbacks:** Die Bewertung des Feedbacks erfolgte mit offenen und geschlossenen Items, die literaturbasiert entwickelt wurden. Aus der Literatur wurden dreizehn allgemeine Merkmale unterstützenden Feedbacks abgeleitet (siehe Tabelle 1). Generell wird zwischen gestalterischen und inhaltlichen Merkmalen unterschieden, die Schüler:innen im Lernprozess unterstützen (Bangert-Drowns et al., 1991; Behnke, 2016; Biber et al., 2011; Brookhart, 2010; Hattie & Timperley, 2007; Kluger & Denisi, 1996; Narciss & Huth, 2004; Pekrun, 2006; Shute, 2008; Wisniewski et al., 2020). Die Items sind auf einer 4-stufigen Likert-Skala hinsichtlich der Unterstützung

bei der Planung eines Experiments (0 = stimmt gar nicht, 1 = stimmt wenig, 2 = stimmt ziemlich, 3 = stimmt völlig) zu beantworten. Die Skala zur Erfassung unterstützender Feedbackmerkmale weist eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .81$  auf. Die offenen Items wurden so konzipiert, dass die Schüler:innen gestalterische, inhaltliche und sprachliche Verbesserungen in Bezug auf ihr erhaltenes Feedback vorschlagen sollten. Diese Items wurden mit dem in Kapitel 5.1.8 beschriebenen Kategoriensystem kodiert.

**Wahrgenommene Kompetenzunterstützung:** Ein Schülerfragebogen zur Ermittlung der wahrgenommenen Unterstützung von Feedback wurde in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt (Bürgermeister et al., 2011). Dieser Fragebogen besteht aus sechs Items die auf einer 4-stufigen Likert-Skala (0 = stimmt gar nicht, 1 = stimmt wenig, 2 = stimmt ziemlich, 3 = stimmt völlig) beantwortet werden. Die Items wurden so angepasst, dass die Schüler:innen die Unterstützung durch ihr erhaltenes Feedback und nicht durch eine Aufgabe einschätzen sollten. Die ersten zwei Items adressieren das Rückmelden des Lernstandes und der nächsten Schritte. Drei weitere Items fragen nach der Unterstützung durch das Feedback für das Planen kommender Experimente. Durch ein abschließendes Item soll eingeschätzt werden, ob das Feedback als positiv und lobend wahrgenommen wurde. Bürgermeister et al. (2011) berichten eine zufriedenstellende Reliabilität von  $\alpha = .70$ . Im Rahmen des vorliegenden Projektes konnte eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .85$  ermittelt werden.

**Umgang mit Feedback im Chemieunterricht:** Um den Umgang mit Feedback im Chemieunterricht der an der Testung teilnehmenden Klassen zu ermitteln, wurde der PERFEED Schülerfragebogen eingesetzt (Mang et al., 2019). Der Fragebogen besteht aus fünf Items die auf einer 4-stufigen Likert-Skala (0 = nie oder fast nie, 1 = in einigen Stunden, 2 = in den meisten Stunden, 3 = in jeder oder fast jeder Stunde) beantwortet werden. Die Schüler:innen sollen einschätzen, wie oft sie von ihrer Chemielehrkraft über ihre Leistung und Verbesserungsmöglichkeiten informiert werden. Mang et al. (2019) berichten eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .90$ . Im vorliegenden Projekt wurde eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .76$  ermittelt.

**Motivation:** Die Motivation der Schüler:innen bei der Arbeit mit ihrem Feedback wird mithilfe der Kurzskala intrinsischer Motivation von Wilde et al. (2009) erhoben, da sich diese Skala auch in Feedbackstudien als geeignetes Messinstrument erwiesen hat. Die Kurzskala besteht aus zwölf Items, die auf einer 4-stufigen Likert-Skala (0 = stimmt gar nicht, 1 = stimmt wenig, 2 = stimmt ziemlich, 3 = stimmt völlig) beantwortet werden. Die Skala lässt sich in vier Subskalen unterteilen. Diese bestehen jeweils

## 5. Erste Untersuchung

aus drei Items und adressieren die Konzepte Interesse/Vergnügen, wahrgenommene Kompetenz, wahrgenommene Wahlfreiheit und Druck/Anspannung. Zur Validierung der Kurzskala intrinsischer Motivation sollten die Schüler:innen zusätzlich angeben, wie gerne sie die ausgeführte Tätigkeit, das Arbeiten mit Feedback, nochmal wiederholen würden (4-stufigen Likert-Skala; gar nicht, kaum, ziemlich, außerordentlich) und diese Tätigkeit mit einer Schulnote (1 bis 6) bewerten. Die Items der Kurzskala intrinsischer Motivation sowie das Item zur Wiederholung der Tätigkeit wurden von einer fünf-stufigen auf eine vier-stufige Likert-Skala reduziert, da die Schüler:innen eine klare Entscheidung treffen sollten. In Tabelle 7 werden die aus der Literatur bekannten und im Rahmen des Projektes ermittelten Reliabilitäten anhand von Cronbach's  $\alpha$  verglichen.

Tabelle 7: Vergleich der Reliabilitäten der Subskalen der Kurzskala intrinsischer Motivation

Quelle	Reliabilität der Subskala [ $\alpha$ ]			
	Interesse/ Vergnü- gen	Wahrgenom- mene Kompetenz	Wahrgenom- mene Wahlfreiheit	Druck/ Anspan- nung
Wilde et al. (2019)	.89	.79	.79	.53
Vorliegendes Projekt	.84	.61	.76	.72

**Cognitive Load:** Der Cognitive Load wird differenziert zwischen dem Extraneous Cognitive Load und dem allgemeinen Cognitive Load gemessen, da die Gestaltung der drei Feedbackversionen variiert wird. Zusätzlich kann der Inhalt des Feedbacks nicht vollständig konstant gehalten werden, da das Feedback an den individuellen Lernstand der Schüler:innen angepasst wird. Der Extraneous Cognitive Load der Schüler:innen bei der Arbeit mit dem Feedback wurde mittels drei Items von Leppink et al. (2013) erhoben. Zusätzlich wurde der allgemeine Cognitive Load der Schüler:innen bei der Arbeit mit dem Feedback mit je einem Item von Kalyuga et al. (1999) zur wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und von Paas (1992) zur investierten Denkanstrengung erhoben. Die drei Items zum Extraneous Cognitive Load sind anstatt auf einer neun-stufigen auf einer sechs-stufigen Likert-Skala zu beantworten (0 = stimmt absolut nicht, 1 = stimmt eher nicht, 2 = stimmt wenig, 3 = stimmt teilweise, 4 = stimmt eher, 5 = stimmt absolut). Die Items von Kalyuga et al. (1999) und Pass (1992) werden ebenfalls anstatt auf einer neun-stufigen auf einer sechs-stufigen Likert-Skala beantwortet (0 = sehr schwer, 1 = ziemlich schwer, 2 = schwer, 3 = leicht, 4 = ziemlich leicht, 5 = sehr leicht; 0 = sehr hoch, 1 = ziemlich hoch, 2 = hoch, 3 = gering,

4 = ziemlich gering, 5 = sehr gering). Die Likert-Skalen der verwendeten fünf Items wurden im Vergleich zu den in der Literatur publizierten Skalen reduziert, um die Schüler:innen zu einer konkreten Entscheidung zu leiten und die erfragte Variable verständlicher zu machen. Um den Extraneous Cognitive Load zu erfassen, wurden die Schüler:innen nach der Verständlichkeit und der Nützlichkeit des erhaltenen Feedbacks gefragt. Leppink et al. (2013) berichten für die Skala zur Erfassung des Extraneous Cognitive Load eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .63$ . Im vorliegenden Projekt wurde ebenfalls eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .67$  ermittelt.

### 5.1.7 Statistische Analysen

Die Datenaufbereitung und -analyse wurde in der Software IBM® SPSS® Statistics 27 durchgeführt. Die in diesem Projekt erhobenen Daten werden in den Analysen aller drei Untersuchungen mithilfe statistischer Verfahren der klassischen Testtheorie (KTT) ausgewertet. Die KTT nimmt an, dass die Beantwortung von Aufgaben (Items) eines Testinstruments von latenten Einstellungs-, Persönlichkeits- oder Fähigkeitsmerkmalen abhängt, welche das Antwortverhalten bestimmen, aber selbst nicht direkt beobachtbar sind. Die Antworten auf die Items werden als beobachtbares Verhalten in manifesten Itemvariablen angesehen und sind Indikatoren für die individuelle Merkmalsausprägung der latenten Variable (Moosbrugger & Kelava, 2020).

**Prüfung der Voraussetzungen:** Um die erhobenen Daten mithilfe parametrischer Tests zu analysieren, sollte die Normalverteilung überprüft werden. Hierzu wurden die z-standardisierten Maße der Schiefe und Kurtosis herangezogen, da Signifikanz-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung bei großen Stichproben bereits bei kleinen Abweichungen signifikante Ergebnisse liefern. Liegt der z-standardisierte Wert der Schiefe und Kurtosis unter 1.96 ist von einer Normalverteilung auszugehen (Field, 2018). Die Prüfung der Voraussetzungen zum Berechnen der nachfolgend beschriebenen Testverfahren wurde im Rahmen der jeweiligen Analyse vorgenommen und, wenn nicht anders berichtet, erfüllt.

**Varianzanalysen:** Anhand der Testinstrumente zum Fachwissen, zu den kognitiven Fähigkeiten und zum Wissen über die Variablenkontrollstrategie wurde die Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen sichergestellt. Dies wurde mittels univariater Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt (Field, 2018). Die kognitiven Fähigkeiten wurden mittels T-Werten beschrieben (Heller & Perleth, 2000). Für das Fachwissen zum Thema „Salze und Ionen“ und für das Wissen über die Variablenkontrollstrategie wurden Summenscores gebildet.

## 5. Erste Untersuchung

Die ANOVA kann als Erweiterung des  $t$ -Tests für unabhängige Stichproben gesehen werden, da die ANOVA den Vergleich von mehr als zwei Gruppen erlaubt. Bei der univariaten Varianzanalyse mit Post-Hoc-Test wurde der Interaktionseffekt, die Veränderung zwischen den Untersuchungsgruppen, auf statistische Signifikanz überprüft. Der Effekt wird mithilfe des Kennwertes  $\eta^2$  angegeben (Field, 2018). Bei einer Effektstärke zwischen  $.01 \leq \eta^2 < .06$  wird von einem kleinen, bei  $.06 \leq \eta^2 < .14$  wird von einem mittleren und bei  $.14 \leq \eta^2$  wird von einem großen Effekt gesprochen (Cohen, 1988a).

Um die Qualität der geschriebenen Experimentplanungen zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt in Abhängigkeit von der genutzten Feedbackversion zu analysieren, wurde eine gemischte ANOVA herangezogen. Diese verbindet Inner- und Zwischensubjektfaktoren, um Effekte der Zeit zwischen Treatments und der Untersuchungsgruppe herausstellen zu können.

Um den Einfluss des Feedbacks auf den Cognitive Load, die intrinsische Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu analysieren, wurde eine univariate Kovarianzanalyse (ANCOVA) herangezogen, da eine multiple lineare Regression gezeigt hat, dass die Feedbackmerkmale der Kategorien Gestaltung und Inhalt diese kognitiven und affektiven Schüler:innenmerkmale beeinflussen. Die ANCOVA stellt eine Erweiterung der ANOVA dar, bei der für eine oder mehr Variablen kontrolliert werden kann. Diese zu kontrollierenden Variablen werden Kovariaten genannt und werden als Störvariablen angesehen.

**Multiple lineare Regression:** Da das Fachwissen, die kognitiven Fähigkeiten und das Wissen über die Variablenkontrollstrategie wichtige Prädiktoren für die Qualität der Experimentplanung darstellen, wird mithilfe einer multiplen linearen Regression dieser Zusammenhang überprüft und die durch die Prädiktoren aufgeklärte Varianz bestimmt. Der somit berechnete  $R^2$ -Wert gibt an, wie viel Prozent der Varianz durch die Prädiktoren aufgeklärt werden kann. Hierbei werden die Varianzanteile eines jeden Prädiktors und die durch Korrelation der Prädiktoren untereinander bedingten gemeinsamen Varianzanteile betrachtet. Durch den  $\beta$ -Koeffizienten wird der spezifische Anteil eines jeden Prädiktors ausgedrückt. Prädiktoren mit hohen  $\beta$ -Werten tragen demnach mehr zur Varianzaufklärung bei (Krüger et al., 2014).

**Explorative Faktorenanalyse:** Die Auswertung der geschlossenen Items zur Bewertung unterstützender Merkmale (13 Items) des Feedbacks erfolgte zunächst mittels explorativer Faktorenanalyse. Diese stellt ein struktursuchendes Verfahren, beispielsweise zur Hypothesengenerierung, dar. Mithilfe der explorativen Faktorenanalyse

kann ein Erklärungsmodell für in Items enthaltenen Informationen generiert werden. Es wird somit ein Zusammenhang zwischen Items und einem latenten Konstrukt hergestellt. Die durch eine Faktorenanalyse extrahierten Faktoren sind hypothetische Konstrukte, die mit den inhaltlichen Merkmalen der Items in Verbindung gebracht werden. Anhand eines Faktorladungsmusters kann ein Erklärungsmodell für multivariate Informationen der Items aufgestellt werden. Dieses Erklärungsmodell dient der Interpretation des Konstruktes (Moosbrugger & Kelava, 2020).

**Schwierigkeitsindex:** Die Auswertung der geschlossenen Items zur Bewertung unterstützender Merkmale (13 Items) des Feedbacks erfolgt weiterführend mittels Schwierigkeitsindizes. Der Schwierigkeitsindex bei Persönlichkeitstests gibt das Vorhandensein bzw. die Stärke der Ausprägung eines untersuchten Merkmals an. Gewöhnlich spricht eine Zustimmung für eine höhere Merkmalsausprägung und eine Ablehnung für eine niedrigere Merkmalsausprägung. Bei Items mit mehr als zwei Antwortkategorien kann der Schwierigkeitsindex für intervallskalierte Stufen nach Dahl (1971) angegeben werden. Hierzu müssen die  $k$  Antwortstufen eines Items  $i$  von 0 bis  $k-1$  kodiert werden. Wird der Mittelwert  $y_i$  des Items  $i$  zur Hilfe genommen, kann der Schwierigkeitsindex mit folgender Formel berechnet werden:

Formel 1: Formel zur Berechnung des Schwierigkeitsindex

$$P_i = \frac{y_i}{k - 1} \cdot 100$$

Der Schwierigkeitsindex  $P_i$  kann als Ausmaß der durchschnittlichen Zustimmung auf einer Skala mit  $k$  Antwortstufen angesehen werden und weist einen Wertebereich von 0 bis 100 auf. Je höher der Schwierigkeitsindex  $P_i$  ist, desto einfacher fällt es den Testpersonen eine zustimmende Antwort zu geben. Je niedriger der Schwierigkeitsindex  $P_i$  ist, desto schwerer fällt es den Testpersonen eine zustimmende Antwort zu geben (Moosbrugger & Kelava, 2020).

**Zusammenfassende qualitative Inhaltsanalyse:** Die Auswertung der offenen Items zur Bewertung des individuellen Feedbacks erfolgte mittels qualitativer Inhaltsanalyse unter induktiver Kategorienbildung aus dem Material. Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ist ein Verfahren zur systematischen Textanalyse und stellt einen empirischen Ansatz dar, das Material nach inhaltsanalytischen Regeln auszuwerten. Für die Auswertung des Materials werden Kategorien verwendet. Die induktive Kategorienbildung ist eine Möglichkeit, diese direkt aus dem vorhandenen Textmaterial

## 5. Erste Untersuchung

abzuleiten. Diese Methode orientiert sich an systematischen Reduktionsprozessen und wird als zusammenfassende qualitative Inhaltsanalyse bezeichnet. Aus der Forschungsfrage der Untersuchung und theoretischen Konstrukten werden Definitionskriterien festgelegt, wonach entschieden wird, welche Aspekte im Material berücksichtigt werden. Das Material wird schrittweise durchgearbeitet und die Kategorien in einer Rückkopplungsschleife überarbeitet, um den Prozess anschließend einer Reliabilitätsprüfung zu unterziehen (Mayring, 2000, 2015). Um die Übereinstimmung der Einschätzung von (zwei) Ratern zu bestimmen, kann das statistische Maß Kappa herangezogen werden. Die Formel zur Berechnung von Kappa lautet nach Brennan und Prediger (1981):

Formel 2: Formel zur Berechnung von Kappa

$$K = \frac{p_0 - \frac{1}{z}}{1 - \frac{1}{z}}$$

Hierbei ist  $p_0$  der gemessene Wert der Übereinstimmung der beiden Schätzer und  $z$  die Anzahl an Kategorien der Merkmalsausprägung. Stimmen alle Rater in ihrer Einschätzung überein, ist  $\kappa = 1$ . Liegt  $\kappa$  unter .40 sollte die Übereinstimmung als unzulänglich betrachtet werden.  $\kappa$ -Werte zwischen .40 und .60 werden als noch annehmbar und größer .80 als gut bis ausgezeichnet eingestuft (Brennan & Prediger, 1981).

### 5.1.8 Kategoriensysteme

Die Auswertung der offenen Items zur Bewertung des individuellen Feedbacks erfolgte mittels qualitativer Inhaltsanalyse. Die Schüler:innen sollten Verbesserungsvorschläge angeben, wie ihr erhaltenes Feedback die Motivation bzw. den Cognitive Load noch stärker unterstützen kann. Zudem sollten sprachlich schwierige Formulierungen genannt werden. Hierzu wurde induktiv je ein Kategoriensystem aus dem vorhandenen Material abgeleitet. Die Verbesserungsvorschläge sind in gestalterische und inhaltliche Vorschläge aufgeteilt. Zu den gestalterischen Vorschlägen zählen das Verbessern des Designs, das Anpassen des Umfangs des Textes sowie das Nutzen sprachlich verständlicherer Formulierungen. Die inhaltlichen Verbesserungsvorschläge beziehen sich auf die rückgemeldeten Informationen, das Anbieten von Hilfestellungen und die verwendeten Begriffe. Die Verbesserungsmöglichkeiten für sprachlich schwierige Formulierungen sind auf der Wort- und Satzebene zu betrachten. Zudem wird innerhalb beider Kategoriensysteme zwischen unpassenden und nicht gemachten Antworten getrennt.



Tabelle 8: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse der Verbesserungsvorschläge der ersten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung
Gestaltung	Design	Farbe
		Bild
	Umfang	Kürzer
		Länger
Inhalt	Textebene	Sprachlich verständlicher
	Feedbackinformationen	Lernstand
		Nächste Schritte
	Hilfestellungen	Beispiele
	Begriffe	Genauere Erklärungen
Motivierende Formulierungen		
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Unpassende Antworten
		Keine Antwort

Tabelle 9: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse der Verbesserung sprachlich schwieriger Formulierungen der ersten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung
Formulierungen	Wort	Fachbegriffe erklären
		Andere Fachbegriffe nutzen
		Andere Wortwahl
	Satz	Motivierende Sätze
Einfachere Formulierungen		
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Unpassende Antworten
		Keine Antwort

### 5.1.9 Prüfung der Voraussetzungen

Die Prüfung der Voraussetzung für das Berechnen parametrischer Tests ergab, dass der Datensatz zu den kognitiven Fähigkeiten die Voraussetzung der Normalverteilung nicht erfüllt. Da an der Datenerhebung Schüler:innen lediglich einer Schulform teilgenommen haben, ist dies nicht unüblich. Der Datensatz zu den kognitiven Fähigkeiten wird trotzdem mittels parametrischer Tests analysiert, da bspw. die ANOVA oder ANCOVA robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung sind. Es gilt, dass mindestens fünfzehn Versuchspersonen pro Untersuchungsgruppe, wenn zwei bis neun Gruppen verglichen werden, gegeben sein müssen, damit auch bei einem nicht

## 5. Erste Untersuchung

normalverteilten Datensatz dieser Test herangezogen werden darf (Blanca et al., 2017; Glass et al., 1972; Lix et al., 1996; Schmider et al., 2010).

### 5.2 Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Kontrollvariablen (Fachwissen, kognitive Fähigkeiten, Wissen über die Variablenkontrollstrategie) sowie die Ergebnisse des Umgangs mit Feedback im Chemieunterricht dargestellt. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse zur Qualität der Experimentplanung und zur Bewertung des Feedbacks (quantitativ) vorgestellt. Danach werden Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses des Feedbacks auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung berichtet. Abschließend werden die qualitativen Ergebnisse zur Bewertung des Feedbacks aufgeführt.

#### 5.2.1 Kontrollvariablen

Anhand der Kontrollvariablen wird sowohl die Charakterisierung der gesamten Stichprobe vorgenommen als auch die Vergleichbarkeit der drei Untersuchungsgruppen gewährleistet. Die statistischen Kennwerte (siehe Tabelle 10) zeigen keine Auffälligkeiten.

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Kontrollvariablen der ersten Untersuchung

Variable	Statistische Kennwerte					
	Gesamtpunktzahl	Min	Max	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>
Fachwissen	20	2	17	9.80	9	3.32
Kognitive Fähigkeiten	25	5	25	18.57	20	4.73
Variablenkontrollstrategie	13	1	13	6.35	6	2.82

Mithilfe einer univariaten Varianzanalyse wurden die Ausgangsbedingungen der Schüler:innen in den drei Gruppen hinsichtlich der Kontrollvariablen analysiert. Die Gruppen weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der drei Kontrollvariablen auf und dürfen miteinander verglichen werden (Fachwissen:  $F(3,132) = .93$ ,  $p = .42$ ,  $\eta^2 = .02$ ; Kognitive Fähigkeiten:  $F(3,132) = .91$ ,  $p = .44$ ,  $\eta^2 = .02$ ; Variablenkontrollstrategie:  $F(3,132) = .98$ ,  $p = .41$ ,  $\eta^2 = .02$ ).

#### 5.2.2 Umgang mit Feedback im Chemieunterricht

Der Umgang mit Feedback im Chemieunterricht wird für die gesamte Stichprobe betrachtet. Der Mittelwert für die gesamte Stichprobe über alle Items zeigt, dass nur selten Feedback an die Schüler:innen gegeben wird ( $M = .83$ ,  $SD = .56$ ). Am seltensten

wird den Schüler:innen rückgemeldet, wo ihre Stärken im Chemieunterricht liegen und wie Lernziele erreicht werden können. Die Schüler:innen werden nur selten über ihre Leistungen im Fach Chemie informiert. Häufiger erhalten die Schüler:innen Feedback zu Verbesserungsmöglichkeiten (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Darstellung der Mittelwerte der Items zum Umgang mit Feedback im Chemieunterricht (Mang et al., 2019)

Item	<i>M</i>	<i>SD</i>
Die Lehrkraft informiert mich über meine Leistung im Fach Chemie.	.86	.81
Die Lehrkraft sagt mir, wo meine Stärken im Chemieunterricht liegen.	.56	.77
Die Lehrkraft sagt mir, in welchen Punkten ich mich noch verbessern kann.	1.06	.77
Die Lehrkraft sagt mir, wie ich meine Leistungen verbessern kann.	.97	.81
Die Lehrkraft berät mich, wie ich meine Lernziele erreichen kann.	.73	.76

### 5.2.3 Qualität der Experimentplanung

Die Qualität der zwei geschriebenen Experimentplanungen, die erste Planung ohne und die zweite Planung mit Feedback, wird mithilfe der erreichten Punkte und der erreichten Qualitätsstufe (siehe Kapitel 5.1.5) ermittelt. Für die Berechnung der erreichten Punkte werden die Merkmale 1 bis 8 einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie herangezogen. Somit sind hier maximal 16 Punkte zu erreichen. Zudem kann die Experimentplanung eine Qualität zwischen den Stufen 1 bis 5 annehmen. Zunächst werden diese Kennwerte deskriptiv betrachtet. Die Mittelwerte der erreichten Punkte sowie die Mittelwerte der Qualitätsstufe der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback zeigen, dass sich die Untersuchungsgruppen nicht deutlich voneinander unterscheiden (siehe Tabelle 12 und 13). Die Schüler:innen, die mit dem graphischen Feedback gearbeitet haben, schreiben vor und nach dem Erhalten von Feedback die besten Experimentplanungen.

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback der ersten Untersuchung

Variable	Untersuchungsgruppe					
	sachlich		motivierend		graphisch	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Erreichte Punkte ohne Feedback	6.71	1.93	6.50	1.96	7.06	1.39
Erreichte Punkte mit Feedback	9.15	3.18	9.79	3.05	10.18	2.46

## 5. Erste Untersuchung

Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Qualitätsstufe der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback der ersten Untersuchung

Variable	Untersuchungsgruppe					
	sachlich		motivierend		graphisch	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Qualitätsstufe ohne Feedback	1.94	.24	2.00	.25	2.00	.00
Qualitätsstufe mit Feedback	2.79	1.12	2.88	1.04	2.91	1.14

Weiterführend wird die Qualität der Experimentplanungen mit einer gemischten ANOVA analysiert. Bei der gemischten ANOVA wurden die erreichten Punkte in der Experimentplanung als Innersubjektfaktor und die Untersuchungsgruppe als Zwischensubjektfaktor definiert. Die erreichten Punkte spiegeln die Zeit wider, da die Experimentplanung einmal vor und nach dem Erhalten von Feedback verfasst und mithilfe von Punkten bewertet wurde. Es gibt keinen statistisch signifikanten Haupteffekt der Gruppe ( $F(2,95) = .76, p = .47, \eta^2 = .02$ ) und auch keine statistisch signifikante Interaktion zwischen der Zeit und der Untersuchungsgruppe ( $F(2,95) = .88, p = .42, \text{partielles } \eta^2 = .02$ ). Die Schüler:innen erreichen ähnliche Punktzahlen in den Experimentplanungen, unabhängig davon, mit welchem Feedback gearbeitet wurde. Jedoch gibt es einen signifikanten Haupteffekt der Zeit ( $F(1,95) = 96.96, p < .001, \text{partielles } \eta^2 = .50$ ). Die Schüler:innen erreichen nach dem Erhalten von Feedback signifikant höhere Punktzahlen in den Experimentplanungen (siehe Abbildung 8).

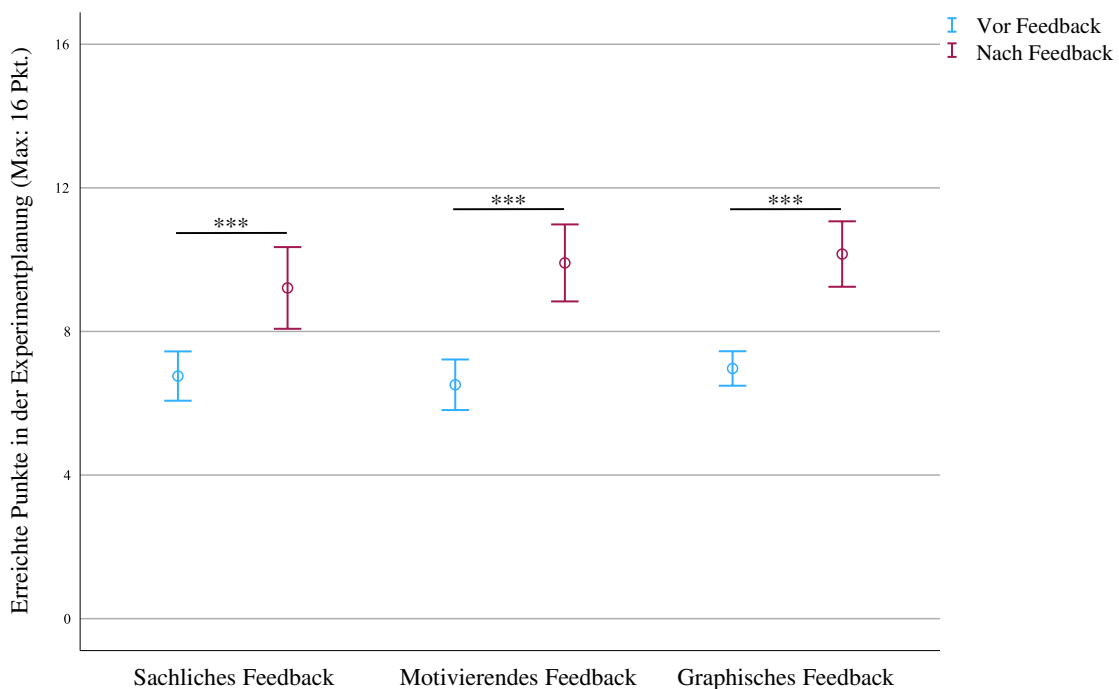


Abbildung 8: Fehlerbalkendiagramm zur Darstellung der Ergebnisse der gemischten ANOVA der erreichten Punkte der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback der ersten Untersuchung (95% KI)

Diese Analyse kann ebenfalls für die Qualitätsstufe der Experimentplanung durchgeführt werden. Bei der gemischten ANOVA wurde die vergebene Qualitätsstufe für die Experimentplanung als Innersubjektfaktor und die Untersuchungsgruppe als Zwischensubjektfaktor definiert. Die vergebene Qualitätsstufe spiegelt die Zeit wider, da die Experimentplanung einmal vor und nach dem Erhalten von Feedback verfasst und mit Hilfe von Qualitätsstufen bewertet wurde. Es gibt keinen statistisch signifikanten Haupteffekt der Gruppe ( $F(2,95) = .10, p = .90, \eta^2 = .002$ ) und auch keine statistisch signifikante Interaktion zwischen der Zeit und der Untersuchungsgruppe ( $F(2,95) = .03, p = .97, \text{partielles } \eta^2 = .001$ ). Die Experimentplanungen werden mit ähnlichen Qualitätsstufen bewertet, unabhängig davon, mit welchem Feedback gearbeitet wurde. Jedoch gibt es einen signifikanten Haupteffekt der Zeit ( $F(1,95) = 64.88, p < .001, \text{partielles } \eta^2 = .41$ ). Die Experimentplanungen der Schüler:innen werden nach dem Erhalten von Feedback mit signifikant höheren Qualitätsstufen bewertet.

Weiterführend zeigt das gestapelte Säulendiagramm in Abbildung 9, dass die mit Hilfe des sachlichen Feedbacks geschriebene Experimentplanung der Schüler:innen zu einem großen Teil mit einer Qualitätsstufe von eins bewertet wurde. Die Schüler:innen in den anderen Untersuchungsgruppen schreiben keinerlei feedbackgestützte Experimentplanungen auf der Qualitätsstufe eins. Die Qualitätsstufen der Experimentplanungen der Schüler:innen, die mit dem motivierenden oder graphischen Feedback gearbeitet haben, sind ähnlich verteilt. Die eine Hälfte erreicht Qualitätsstufe zwei und drei und die andere Hälfte erreicht Qualitätsstufe vier und fünf.

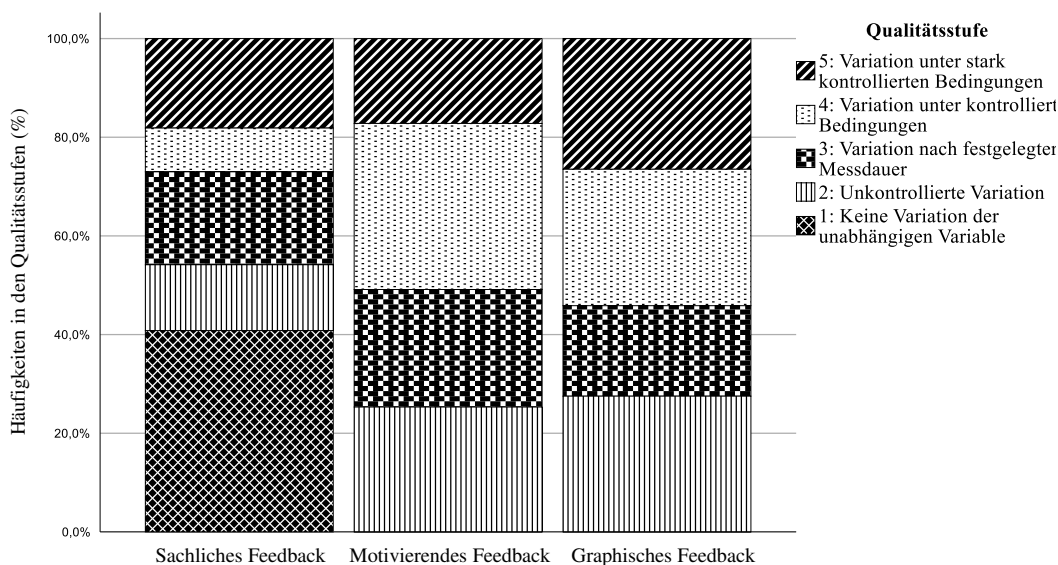


Abbildung 9: Gestapeltes Säulendiagramm der erreichten Qualitätsstufen in der Experimentplanung nach dem Erhalten von Feedback in Abhängigkeit von der Untersuchungsgruppe der ersten Untersuchung

## 5. Erste Untersuchung

Des Weiteren wurde eine multiple lineare Regression herangezogen, um zu überprüfen, ob das Fachwissen, die kognitiven Fähigkeiten und das Wissen über die Variablenkontrollstrategie Prädiktoren für die Qualität der Experimentplanung sind. Das Modell hat mit  $R^2 = .27$  eine hohe Anpassungsgüte (Cohen, 1988b). Die Prädiktoren kognitive Fähigkeiten ( $\beta = .31$ ) und Wissen über die Variablenkontrollstrategie ( $\beta = .25$ ) sagen die Qualität der Experimentplanung statistisch signifikant voraus,  $F(3,97) = 13.00$ ,  $p < .001$  (siehe Abbildung 10).

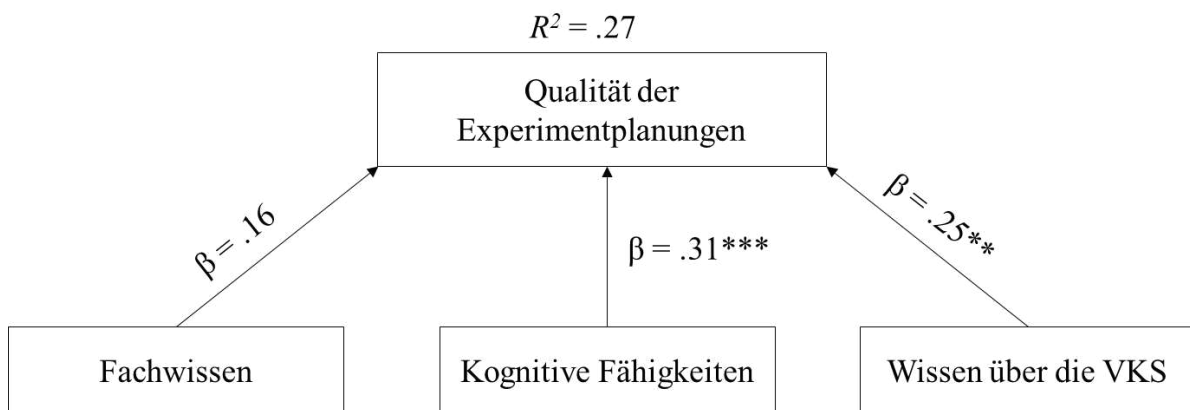


Abbildung 10: Multiple lineare Regression zum Einfluss von Fachwissen, kognitiven Fähigkeiten und Wissen über die VKS auf die Qualität der Experimentplanung der ersten Untersuchung

### 5.2.4 Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale

Die geschlossenen Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale und Beantwortung von Forschungsfrage 1a wurden mittels explorativer Faktorenanalyse, Mittelwertsunterschieden und Schwierigkeitsindizes analysiert. Hierbei wurde die gesamte Stichprobe betrachtet, da die Feedbackmerkmale in den drei Feedbackversionen gleichermaßen umgesetzt und nicht statistisch signifikant unterschiedlich bewertet wurden. Dies wurde mittels multivariater Varianzanalyse berechnet ( $F(26, 166) = .78$ ,  $p = .77$ , partielles  $\eta^2 = .11$ , Wilk's  $\Lambda = .79$ ).

### Explorative Faktorenanalyse

Das Vorliegen der aus der Theorie abgeleiteten zwei Kategorien unterstützender Feedbackmerkmale, Gestaltung und Inhalt, wurde mittels explorativer Faktorenanalyse geprüft. Sowohl der Bartlett-Test ( $\text{Chi-Quadrat}(78) = 266.96$ ,  $p < .001$ ) als auch das Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy ( $\text{KMO} = .81$ ) weisen darauf hin, dass sich die Variablen des Einschätzungsbogens für eine Faktorenanalyse eignen. So wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit Promax-Rotation durchgeführt. Hierbei wurden Koeffizienten mit einem Absolutwert  $< .30$  unterdrückt. Obwohl der Screeplot

eine Ein-Faktor-Lösung vermuten lässt, wurde aufgrund der Eigenwerte und theoretischer Überlegungen für die Extraktion der Faktoren eine Zwei-Faktor-Lösung gewählt, welche 41 % der Varianz erklärt. So werden nur Faktoren in Betracht gezogen, deren Eigenwert  $> 1$  ist und die Varianzaufklärung mindestens zusätzliche 10 % beträgt. Es liegen lediglich Querladungen mit einem Absolutwert  $< .30$  vor, die vernachlässigt werden. Ein Item wird jeweils dem Faktor zugeordnet, der die höhere Faktorladung aufweist. Es zeigt sich, dass die Items, welche die Gestaltung adressieren, einen Faktor bilden (Eigenwert = 4,01; 31 % Varianzaufklärung). Hierzu zählen das Vorliegen schriftlicher Informationen, der geringe Informationsumfang, das direkte Ansprechen der Schüler:innen, der konkrete Bezug zur Experimentplanung, die sprachliche Verständlichkeit und das Aufführen von Beispielen für Verbesserungen. Die Items, welche den Inhalt adressieren, bilden einen weiteren Faktor (Eigenwert = 1,28; 10 % Varianzaufklärung). Hierzu zählen das Aufführen der Lernziele, des Lernstands (Items 5 und 3) und der nächsten Schritte (Items 8, 2 und 4) sowie die positive Bestärkung durch diese Informationen. Damit können die in der Theorie vorgeschlagenen zwei Faktoren in dieser Untersuchung empirisch bestätigt werden: *Gestaltung* und *Inhalt*. Für die zwei Faktoren kann die Reliabilität mithilfe von Cronbachs  $\alpha$  bestimmt werden. Die Reliabilität des Faktors Gestaltung liegt mit  $\alpha = .74$  in einem angemessenen Bereich. Für den Faktor Inhalt kann mit  $\alpha = .69$  von einer zufriedenstellenden Reliabilität gesprochen werden.

## 5. Erste Untersuchung

Tabelle 14: Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse des Einschätzungsbogens zur Erfassung unterstützender Feedbackmerkmale der ersten Untersuchung

Item	Faktorladung	
	Gestal- tung	In- halt
Item 9: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es in schriftlicher Form vorliegt.	.82	
Item 6: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es nicht zu viele Informationen enthält.	.75	
Item 10: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mich direkt anspricht.	.64	
Item 11: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es Bezug zu meiner Experimentplanung nimmt.	.56	
Item 12: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es sprachlich gut zu verstehen war.	.56	
Item 13: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mir konkrete Beispiele aufzeigt, was ich in den nächsten Schritten noch verbessern kann.	.44	
Item 8: Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich dadurch weiß, was ich falsch gemacht habe.		.82
Item 1: Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, für welches Lernziel ich die Aufgabe gemacht habe.		.68
Item 2: Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie ich das Lernziel der Aufgabe erreichen kann.		.62
Item 4: Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, was ich beim nächsten Mal noch besser machen kann.		.62
Item 5: Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie gut ich die Aufgabe gelöst habe.		.46
Item 7: Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mir ein positives Gefühl gibt.		.37
Item 3: Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, was ich durch das Bearbeiten der Aufgabe gelernt habe.		.36

### Mittelwertsunterschiede

Für die Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale werden zunächst deskriptive Vergleiche des Mittelwerts herangezogen. Hierbei werden die durch die explorative Faktorenanalyse extrahierten zwei Faktoren getrennt betrachtet.

Für den ersten Faktor (Gestaltung) ist festzuhalten, dass für Schüler:innen vor allem das Aufführen von Beispielen zur Verbesserung der nächsten Schritte unterstützend ist. Ebenfalls unterstützend ist die gute sprachliche Verständlichkeit, der Bezug zur



bearbeiteten Aufgabe, das Vorliegen schriftlichen Feedbacks sowie das direkte Adressieren. Weniger unterstützend wird der Umfang des Feedbacks eingeschätzt.

Tabelle 15: Mittelwerte der Items des Faktors Gestaltung

Item	<i>M</i>	<i>SD</i>
BF6 (Umfang)	1.28	1.01
BF9 (Schriftlich)	1.64	1.01
BF10 (Personalisierung)	1.59	.96
BF11 (Aufgabenbezug)	1.70	.80
BF12 (Verständlichkeit)	1.79	1.03
BF13 (Beispielorientierung)	1.98	.95

Für den zweiten Faktor (Inhalt) ist festzuhalten, dass für Schüler:innen vor allem das Aufführen der nächsten Schritte und Fehler sowie der Weg zum Erreichen des Lernziels unterstützend ist. Aber auch das Rückmelden des Lernstands wird als unterstützend eingeschätzt. Weniger unterstützend wird die positive Bestärkung durch die Feedbackinformationen angesehen.

Tabelle 16: Mittelwerte der Items des Faktors Inhalt

Item	<i>M</i>	<i>SD</i>
BF1 (Lernziel)	1.52	.68
BF2 (Weg zum Lernziel)	1.84	.77
BF4 (Nächste Schritte)	2.20	.86
BF5 (Lernstand)	1.87	.81
BF7 (Bestärkung)	1.30	.86
BF8 (Fehlerorientierung)	1.99	.83
BF3 (Fortschritt)	1.46	.84

### Schwierigkeitsindizes

Mithilfe des Schwierigkeitsindex wurden die Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale weiterführend analysiert. Basierend auf dem Schwierigkeitsindex kann ein Eindruck über die durchschnittliche Zustimmung gewonnen werden. Dieser gibt an, wie leicht oder schwer Schüler:innen die Zustimmung fällt, dass das aufgeführte Merkmal von Feedback als unterstützend gilt. Vor allem der Unterstützung durch das Aufführen der nächsten Schritte (BF4) wird zugestimmt. Ebenfalls fällt die Zustimmung zur Unterstützung des Feedbacks durch die Fehlerorientierung (BF8), die Beispielorientierung (BF13), das Angeben des Weges zum Erreichen des Lernziels (BF2) und das Angeben des Lernstands (BF5) leicht. Im Vergleich dazu fällt die

## 5. Erste Untersuchung

Zustimmung zur Unterstützung durch die sprachliche Verständlichkeit des Feedbacks (BF12), den Aufgabenbezug (BF11), das Vorliegen in schriftlicher Form (BF9), die Personalisierung (BF10) und das Aufführen des Lernziels (BF1) etwas weniger leicht, liegt aber nach wie vor über 50 %. Deutlich schwerer fällt die Zustimmung zu den Merkmalen Fortschritt (BF3), Bestärkung (BF7) und Umfang (BF6).

Tabelle 17: Schwierigkeitsindizes der Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale der ersten Untersuchung

Item	Schwierigkeitsindex [%]
BF1 (Lernziel)	51.00
BF2 (Weg zum Lernziel)	61.60
BF3 (Fortschritt)	48.30
BF4 (Nächste Schritte)	70.60
BF5 (Lernstand)	61.60
BF6 (Umfang)	42.00
BF7 (Bestärkung)	43.30
BF8 (Fehlerorientierung)	66.30
BF9 (Schriftlich)	54.30
BF10 (Personalisierung)	53.60
BF11 (Aufgabenbezug)	57.30
BF12 (Verständlichkeit)	59.30
BF13 (Beispielorientierung)	66.00

### 5.2.5 Einfluss des Feedbacks auf Cognitive Load, Motivation und wahrgenommene Kompetenzunterstützung

#### Cognitive Load

Der Cognitive Load wird getrennt für die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit, die investierte Denkanstrengung und für den Extraneous Cognitive Load betrachtet. Zunächst werden die Ergebnisse deskriptiv ausgewertet. Die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit und die investierte Denkanstrengung beziehen sich auf das Verstehen des jeweiligen Feedbacks. Für die Schüler:innen, die mit dem motivierenden Feedback gearbeitet haben, war das Verstehen des Feedbacks am leichtesten, gefolgt von den Schüler:innen, die mit dem graphischen oder sachlichen Feedback gearbeitet haben. Außerdem war die investierte Denkanstrengung der Schüler:innen, die das motivierende Feedback erhalten haben, beim Verstehen des Feedbacks am geringsten, gefolgt von den Schüler:innen des sachlichen und graphischen Feedbacks. Der Extraneous Cognitive Load ist für die Schüler:innen des motivierenden Feedbacks am geringsten, gefolgt von Schüler:innen des sachlichen und graphischen Feedbacks.

Tabelle 18: Darstellung der Mittelwerte der Testinstrumente zum Erfassen des Cognitive Load der ersten Untersuchung

Variable	Untersuchungsgruppe					
	sachlich		motivierend		graphisch	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit	1.79	.99	1.60	1.36	1.77	1.23
Investierte Denkanstrengung	1.70	1.13	1.53	1.02	2.06	1.32
Extraneous Cognitive Load	1.96	1.08	1.61	1.23	2.10	1.17

### Motivation

Das Instrument zur Erfassung der intrinsischen Motivation (Wilde et al., 2009) wurde mittels explorativer Faktorenanalyse geprüft. Der Bartlett-Test (Chi-Quadrat(66) = 366.92,  $p < .001$ ) und das Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO = .65) weisen darauf hin, dass sich die Variablen und die Stichprobe für eine Faktorenanalyse eignen. So wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation durchgeführt. Es wurden Koeffizienten mit einem Absolutwert von  $< .40$  unterdrückt. Die Faktorenanalyse deutet auf das Vorliegen von vier Faktoren mit Eigenwerten grösser als 1.0 hin, welche 68.5 % der Varianz erklären. Das Vorliegen von vier Faktoren stimmt mit der in der Literatur publizierten Anzahl an Faktoren überein. Damit liegen vier Faktoren bestehend aus je drei Items vor: „Interesse/Vergnügen“, „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „Druck/Anspannung“. Es liegt eine Querladung vor, welche aber aufgrund von einer Differenz  $> .20$  in den beiden Faktorladungen vernachlässigt werden kann. Für die so erhaltenen vier Faktoren kann die Reliabilität mithilfe von Cronbachs  $\alpha$  bestimmt werden. Die Reliabilität des ersten Faktors (Interesse/Vergnügen) liegt mit  $\alpha = .84$  in einem angemessenen Bereich. Für den zweiten Faktor (wahrgenommene Kompetenz) kann aufgrund von  $\alpha = .62$  von einer zufriedenstellenden Reliabilität gesprochen werden. Für den dritten Faktor (wahrgenommene Wahlfreiheit) beträgt  $\alpha = .75$  und für den vierten Faktor (Druck/Anspannung)  $\alpha = .72$ .

## 5. Erste Untersuchung

Tabelle 19: Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse des Instruments zur intrinsischen Motivation

Subskala	Faktorladung			
	1	2	3	4
Interesse/Vergnügen	.86			
	.89			
	.83			
Wahrgenommene Kompetenz		.50		
		.84		
		.80		
Wahrgenommene Wahlfreiheit			.67	
			.86	
			.80	
Druck/Anspannung				.83
				.89
				.63

Deskriptiv ist festzuhalten, dass die Schüler:innen, die das motivierende Feedback erhalten haben, das höchste Interesse/Vergnügen haben im Vergleich zu den Schüler:innen der anderen beiden Feedbackversionen. Außerdem nehmen die Schüler:innen, die mit dem motivierenden Feedback gearbeitet haben, die höchste wahrgenommene Kompetenz wahr, gefolgt von den Schüler:innen der anderen beiden Feedbackversionen. Ein anderer Trend zeigt sich für die Subskala zur wahrgenommenen Wahlfreiheit. Die Schüler:innen, die das sachliche Feedback erhalten haben, verspüren die höchste wahrgenommenen Wahlfreiheit gefolgt von den Schüler:innen des motivierenden und graphischen Feedbacks.

Tabelle 20: Darstellung der Mittelwerte der Subskalen der intrinsischen Motivation der ersten Untersuchung

Subskala	Untersuchungsgruppe					
	sachlich		motivierend		graphisch	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
„Interesse/Vergnügen“	1.35	.88	1.38	.85	1.25	.72
„Wahrgenommene Kompetenz“	1.52	.60	1.57	.60	1.57	.70
„Wahrgenommene Wahlfreiheit“	1.65	.73	1.66	.80	1.62	.85
„Druck/Anspannung“	2.02	.76	1.76	.85	2.40	.62

### Wahrgenommene Kompetenzunterstützung

Die Mittelwerte zeigen deskriptive Unterschiede zwischen den drei Untersuchungsgruppen. Die Schüler:innen nehmen ihr motivierendes Feedback als besonders unterstützend wahr, da sie durch das Feedback erfahren, was sie noch verbessern können.

Außerdem fühlen sie sich durch das Feedback für gute Leistungen gelobt. Die Schüler:innen aller Untersuchungsgruppen haben durch das Feedback das Gefühl, dass sie ihr Wissen beim nächsten Mal umsetzen können. Die Schüler:innen, die mit dem graphischen Feedback gearbeitet haben, nehmen die Unterstützung durch das Feedback allgemein als eher gering wahr.

Tabelle 21: Mittelwerte der Items zur wahrgenommenen Kompetenzunterstützung durch Feedback (Bürgermeister et al., 2011)

Item	Untersuchungsgruppe					
	sachlich		motivierend		graphisch	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Durch das Feedback habe ich erfahren, ob ich Fortschritte gemacht habe.	1.44	.80	1.58	.97	1.27	.88
Durch das Feedback habe ich erfahren, was ich noch verbessern könnte.	2.03	.69	2.45	.75	1.94	.97
Durch das Feedback fühle ich mich darin unterstützt, den Stoff, der im Experiment behandelt wurde, besser zu verstehen.	1.31	.90	1.36	.86	.94	.83
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass mir auch schwierige Aufgaben zuge- traut werden.	1.25	.80	1.21	.99	.94	.79
Durch das Feedback fühle ich mich für gute Leistungen gelobt.	1.41	1.00	1.67	.99	1.21	.93
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass ich mein Wissen beim nächsten Mal umsetzen kann.	1.56	.80	1.64	1.11	1.58	1.00

### Multiple lineare Regression

Multiple lineare Regressionen zeigen, dass eine höhere Einschätzung der Unterstützung durch das Feedback aufgrund der formalen Gestaltung und der inhaltlichen Umsetzung der Feedbackinformationen mit einer signifikant geringer wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und einem signifikant geringeren Extraneous Cognitive Load einhergeht. Des Weiteren wurde festgestellt, dass eine höhere Wahrnehmung der Unterstützung durch das Feedback aufgrund der inhaltlichen Umsetzung mit einer signifikant höheren Motivation einhergeht. Ebenso wurde beobachtet, dass eine höhere Einschätzung der Unterstützung durch das Feedback aufgrund der formalen Gestaltung und der inhaltlichen Umsetzung mit einer signifikant höheren wahrgenommenen Kompetenzunterstützung durch das Feedback einhergeht. Diese Befunde legen den Einsatz einer ANCOVA zur Beantwortung von Forschungsfrage 1b nahe, da die

## 5. Erste Untersuchung

Feedbackmerkmale der Kriterien Gestaltung und Inhalt einen Einfluss auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale nehmen.

Tabelle 22: Ergebnisse der Regression zum Zusammenhang von Cognitive Load, Motivation, wahrgenommener Kompetenzunterstützung und Gestaltung und Inhalt der ersten Untersuchung

Variable							95% KI	
	<i>B</i>	<i>SE</i>	$\beta$	T	<i>p</i>	UG	OG	
Investierte Denkanstrengung								
<i>Gestaltung</i>	-.06	.04	-.18	-1.56	.12	-.13	.02	
<i>Inhalt</i>	-.05	.04	-.13	-1.12	.27	-.13	.04	
Wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit								
<i>Gestaltung</i>	-.08	.03	-.26	-2.47	.02	-.15	-.02	
<i>Inhalt</i>	-.11	-.04	-.31	-2.95	.004	-.19	-.04	
Extraneous Cognitive Load								
<i>Gestaltung</i>	-.09	.03	-.28	-2.78	.006	-.15	-.03	
<i>Inhalt</i>	-.12	.04	-.34	-3.39	.001	-.19	-.05	
Intrinsische Motivation								
<i>Gestaltung</i>	.02	.01	.15	1.38	.17	-.01	.04	
<i>Inhalt</i>	.05	.01	.36	3.28	.001	.02	.08	
Kompetenzunterstützung								
<i>Gestaltung</i>	.04	.02	.25	2.95	.004	.01	.07	
<i>Inhalt</i>	.12	.02	.57	6.77	< .001	.08	.15	

### ANCOVA

Um den Einfluss des sachlichen, motivierenden und graphischen Feedbacks unter der notwendigen Kontrolle von Gestaltung und Inhalt auf die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit, die investierte Denkanstrengung, den Extraneous Cognitive Load, die intrinsische Motivation sowie die wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu untersuchen und Forschungsfrage 1b zu beantworten, wird eine ANCOVA berechnet. Die Ergebnisse in Tabelle 23 zeigen, dass es keinen signifikanten Effekt der zugewiesenen Feedbackversion auf die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit, die investierte Denkanstrengung, den Extraneous Cognitive Load sowie die intrinsische Motivation gibt. Jedoch ist ein Einfluss der Feedbackversion auf die wahrgenommene Kompetenzunterstützung festzustellen. Die Schüler:innen, die mit dem graphischen Feedback gearbeitet haben, nehmen die Kompetenzunterstützung dieser Feedbackversion signifikant niedriger wahr als die Schüler:innen der beiden anderen Feedbackversionen.

Tabelle 23: Ergebnisse der ANCOVA der ersten Untersuchung

Effekt	dF	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta^2$
Investierte Denkanstrengung				
<i>Gestaltung</i>	1	1.45	.23	.02
<i>Inhalt</i>	1	1.69	.20	.02
Feedbackversion	2	1.69	.19	.04
Wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit				
<i>Gestaltung</i>	1	5.69	.03	.05
<i>Inhalt</i>	1	8.70	.004	.09
Feedbackversion	2	.28	.78	.005
Extraneous Cognitive Load				
<i>Gestaltung</i>	1	6.06	.02	.06
<i>Inhalt</i>	1	12.69	< .001	.12
Feedbackversion	2	1.33	.27	.03
Intrinsische Motivation				
<i>Gestaltung</i>	1	1.07	.30	.01
<i>Inhalt</i>	1	12.05	< .001	.12
Feedbackversion	2	1.92	.15	.04
Kompetenzunterstützung				
<i>Gestaltung</i>	1	6.22	.01	.06
<i>Inhalt</i>	1	51.35	< .001	.36
Feedbackversion	2	3.28	.04	.07

### 5.2.6 Qualitative Ergebnisse

Mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse und induktiver Kategorienbildung aus dem Material (siehe Kapitel 5.1.8) wurden die Verbesserungsvorschläge und Verbesserungen sprachlich schwieriger Formulierungen getrennt nach den drei Untersuchungsgruppen bzw. Feedbackversionen analysiert. Vorweg ist zu berichten, dass ein großer Anteil der von Schüler:innen notierten Antworten unter die Hauptkategorie „Nicht aufgabenbezogene Antworten“ fällt.

Die Schüler:innen aller Untersuchungsgruppen schlagen vor, die Gestaltung (Hauptkategorie) des Feedbacks mit Hilfe verschiedener „Designelemente“ (Subkategorie) aufzuwerten. Durch das zum Text zusätzliche Nutzen von Bildern könnte ihr Cognitive Load reduziert werden. Beispielsweise könnte der Aufbau des Experiments als Bild dargestellt werden. Auch das farbliche Design könnte verbessert werden, um deutlicher hervorzuheben, welche Informationen zum Lernstand (grün oder grau) und zu den nächsten Schritten (rot) zählen. Wird die Subkategorie des „Umfangs“ betrachtet, fällt auf, dass sich die Schüler:innen aller Untersuchungsgruppen nicht einig sind, ob dieser kürzer oder länger sein sollte, um die jeweilige kognitive oder affektive

## 5. Erste Untersuchung

Facette zu adressieren. Auf der Subkatgeorie der „Textebene“ wird deutlich, dass sich vor allem die Schüler:innen, die mit dem sachlichen und graphischen Feedback gearbeitet haben, sprachlich verständlichere Formulierungen wünschen, um den Cognitive Load zu reduzieren. Unter der Hauptkategorie des Inhalts ist die Subkategorie der „Feedbackinformationen“ verankert, welche sich dadurch auszeichnet, dass vor allem die Schüler:innen des motivierenden Feedbacks angeben, dass die Motivation durch das Aufführen des Lernstands adressiert und gesteigert wird. Die Schüler:innen des sachlichen und graphischen Feedbacks melden zurück, dass der Cognitive Load durch das Angeben der nächsten Schritte reduziert wird. Die Subkategorie der „Hilfestellungen“ tritt dadurch in den Vordergrund, dass sich die Schüler:innen aller Untersuchungsgruppen mehr Beispiele im Feedback wünschen. Die Schüler:innen, die das graphische Feedback erhalten haben, geben im Rahmen der Subkategorie „Begriffe“ häufig an, dass genauere Erklärungen notwendig sind, um einen Einfluss auf kognitive oder affektive Merkmale zu nehmen. Motivierende Formulierungen wünschen sich überwiegend Schüler:innen, die das motivierende oder graphische Feedback erhalten haben.

Tabelle 24: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die Verbesserungsvorschläge pro Untersuchungsgruppe der ersten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung	UG	UG	UG
			1	2	3
Gestaltung	Design	Farbe	1	6	7
		Bild	4	2	5
	Umfang	Kürzer	4	7	8
		Länger	5	5	5
	Textebene	Sprachlich verständlicher	7	3	7
	Inhalt	Feedbackinformationen	Lernstand	5	10
Nächste Schritte			11	3	11
Hilfestellungen		Beispiele	10	7	6
Begriffe		Genauere Erklärungen	2	4	8
		Motivierende Formulierungen	5	9	10
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Unpassende Antworten	13	22	4
	Antworten	Keine Antwort	5	3	1

Anmerkung: UG1 = sachlich, UG2 = motivierend, UG3 = graphisch



Hinsichtlich der Verbesserung sprachlich schwieriger Formulierungen kann festgehalten werden, dass unter der Subkategorie „Wort“ das Erklären von Fachbegriffen, das Nutzen von anderen Fachbegriffen und das Nutzen einer anderen Wortwahl als Ausprägungen aufgeführt wurden. Hier wurden folgende verbesserungswürdige Fachbegriffe genannt: Faktor, Phänomen, Messinstrument, Einflussfaktor, Kontrollexperiment. Diese sollten erklärt oder durch andere Begriffe ersetzt werden, da diese Begriffe im gesamten Feedback häufig verwendet werden. Außerdem würde im Allgemeinen eine andere Wortwahl, die nicht so sachlich, sondern schülergerechter ist, bevorzugt werden.

Die Subkategorie „Satz“ zeichnet sich dadurch aus, dass das Feedback durch motivierende Sätze und einfachere Formulierungen leichter zugänglich gemacht werden könnte. Die vorgeschlagenen motivierenden Sätze waren z.B. „Das kannst du schon...“, „Du hast vieles verstanden...“, „Das hast du sehr gut gemacht...“ oder „Du hast eine tolle Lösung gefunden...“. Vor allem das Wort „variieren“ wird als schwierig bezeichnet.

Tabelle 25: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die Verbesserung sprachlich schwieriger Formulierungen pro Untersuchungsgruppe der ersten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung	UG	UG	UG
			1	2	3
Formulierungen	Wort	Fachbegriffe erklären	1	2	6
		Andere Fachbegriffe nutzen	14	4	3
		Andere Wortwahl	5	8	2
	Satz	Motivierende Sätze	7	10	5
		Einfachere Formulierungen	7	2	11
		Nicht aufgabenbezogene Antworten	14	11	13
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Keine Antwort	9	9	6	

Anmerkung: UG1 = sachlich, UG2 = motivierend, UG3 = graphisch

Abschließend wurde als inhaltsanalytisches Gütekriterium die Intercoderreliabilität mit dem Maß Kappa gemäß Formel 2 aus Kapitel 5.1.7 berechnet, welche mit  $\kappa_{\text{Verbesserungsvorschläge}} = .77$  und  $\kappa_{\text{Formulierungen}} = .80$  als gute Übereinstimmungen charakterisiert werden können.

## 5. Erste Untersuchung

### 5.3 Diskussion

Die Diskussion der Ergebnisse der ersten Untersuchung wird in Bezug zu Forschungsfrage 1 vorgenommen. Abschließend werden Schlussfolgerungen hinsichtlich Forschungsfrage 1 und den dazugehörigen Hypothesen gezogen sowie das daraus resultierende weitere Vorgehen erläutert.

#### Quantitative Ergebnisse

Die Forschungsfrage 1a adressiert das Untersuchen unterstützender Feedbackmerkmale beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie:

**Forschungsfrage 1a:** Welche Feedbackmerkmale schätzen Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie als unterstützend ein?

**Hypothese 1a:** In der Kategorie *Gestaltung* werden das Vorliegen von Feedback in schriftlicher Form, ein adäquater Informationsumfang, das direkte und persönliche Ansprechen des Adressaten, ein direkter Aufgabenbezug, die sprachliche Verständlichkeit sowie das Aufführen anschaulicher Beispiele zur Umsetzung nächster Schritte und Verbesserung von Fehlern als unterstützende Merkmale eingeschätzt (Bangert-Drowns et al., 1991; Behnke, 2016; Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008; Wisniewski et al., 2020). In der Kategorie *Inhalt* werden das Aufführen von Informationen zum Lernziel, Lernstand und den nächsten Schritten sowie die positive Bestärkung durch das Beantworten der drei genannten Feedbackfragen als unterstützende Merkmale eingeschätzt (Hattie & Timperley, 2007; Pekrun, 2006).

Mittels explorativer Faktorenanalyse konnten zwei voneinander trennbare Faktoren extrahiert werden, welche aus der Literatur zuvor abgeleitet und in der Untersuchung mit Hilfe eines Einschätzungsbogens erfasst wurden. Bei der Aufbereitung von individuellem, lernbegleitendem Feedback sollte auf die formale Gestaltung und den rückgemeldeten Inhalt geachtet werden. Aus der Literatur ist bekannt, dass sowohl beim Erstellen eines Textdokuments (Alred et al., 2009) als auch beim Erstellen von Feedback (Narciss & Huth, 2004; Shute, 2008) auf die formale Gestaltung und auf den Inhalt geachtet werden muss. Dieser Befund kann somit auf individuelles lernbegleitendes Feedback im Chemieunterricht zur Förderung der Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten übertragen werden.

Die Feedbackmerkmale, die in dieser Untersuchung betrachtet wurden, sind hinsichtlich einer lernunterstützenden Funktion in der Literatur als effektiv bestätigt. Welche Merkmale aus Sicht der Schüler:innen als lernunterstützend gelten, wurde mittels

Schwierigkeitsindex analysiert. Es konnte festgestellt werden, dass vor allem der Lernunterstützung durch das Aufführen der nächsten Schritte zugestimmt wird. Ebenfalls fällt die Zustimmung zur Lernunterstützung des Feedbacks durch die Fehlerorientierung, die Beispielerorientierung, das Angeben des Weges zum Erreichen des Lernziels und das Angeben des Lernstands leicht. Im Vergleich dazu fällt die Zustimmung zur Unterstützung durch die sprachliche Verständlichkeit des Feedbacks, den Aufgabenbezug, das Vorliegen in schriftlicher Form, die Personalisierung und das Aufführen des Lernziels etwas weniger leicht, liegt aber nach wie vor über 50 %. Deutlich schwerer fällt die Zustimmung zu den Merkmalen des Aufzeigens eines Fortschrittes, der positiven Bestärkung durch die Informationen und dem adäquaten Umfang des Feedbacks. Hypothese 1a ist somit zum Teil bestätigt, da nicht alle antizipierten Merkmale als lernunterstützend charakterisiert werden können. Es ist wichtig zu beachten, dass diese Merkmale auf verschiedene Art und Weise umgesetzt und kombiniert werden können und es nicht die eine richtige Möglichkeit dafür gibt. Dies betont nochmals die hohe Varianz in den Möglichkeiten Feedback auszustellen.

Ob nur ein Lernziel oder direkt mehrere Teillernziele, die zum Erreichen des gesamten Lernziels beitragen, angegeben werden, ist stark von der Aufgabe abhängig, zu welcher das Feedback eine Rückmeldung gibt. Das Rückmelden, wie das Lernziel erreicht werden kann, geht mit dem Erklären der nächsten zu gehenden Schritte einher. Auf diese Weise wird den Schüler:innen verdeutlicht, was sie noch tun müssen, um das Lernziel zu erreichen. Auch das kann je nach bearbeiteter Aufgabe sehr unterschiedlich ausfallen. So kann den Schüler:innen beispielsweise lediglich rückgemeldet werden, was sie falsch gemacht haben. Andernfalls kann, wie in dieser Untersuchung umgesetzt, mit Beispielen gearbeitet werden, die sich konkret auf die Aufgabe beziehen. Diese Beispiele zeigen den Schüler:innen auf, wie man das entsprechende Kriterium hätte korrekt umsetzen können bzw. wie man dieses Kriterium bei erneutem Bearbeiten der Aufgabe umsetzen kann. Das Aufzeigen von Fehlern ist für die Schüler:innen ein sehr wichtiges Merkmal hinsichtlich der Unterstützung von Feedback. Neben dem Rückmelden von Lernziel und nächsten Schritten gehört auch das Aufzeigen des Lernstandes zu den unterstützenden Feedbackmerkmalen. In diesem Abschnitt wird den Schüler:innen verdeutlicht, was sie beim Bearbeiten der Aufgabe schon gut bzw. richtig gemacht haben. Genau wie das Rückmelden von Lernziel und nächsten Schritten kann auch diese Information, abhängig von der bearbeiteten Aufgabe, sehr unterschiedlich ausfallen. So kann den Schüler:innen lediglich mitgeteilt werden, was sie schon können oder es wird zusätzlich aufgeführt, woran in der bearbeiteten Aufgabe zu erkennen ist, dass sie dieses Kriterium schon korrekt umgesetzt haben. Auch dies kann mithilfe von Beispielen aus der Aufgabe realisiert werden. Ein weiteres wichtiges

## 5. Erste Untersuchung

Feedbackmerkmal ist die sprachliche Umsetzung des Feedbackinhalts. Der Inhalt kann von vollkommen sachlich bis emotional und positiv formuliert sein. Das hängt ebenfalls davon ab, auf welche Aufgabe das Feedback Bezug nimmt und ob eventuell eine motivationale Facette beim Feedbackempfänger adressiert werden soll. Der Umfang des Feedbacks ist ein weiteres Merkmal, das – je nach Bedarf – sehr unterschiedlich ausfällt. Feedback kann im Sinne hoch informativer bzw. elaborierter Rückmeldungen sehr ausführlich gestaltet sein. Aber auch kurzes Feedback ist denkbar, wenn beispielsweise nur rückgemeldet wird, ob die Antwort zu einer bearbeiteten Aufgabe richtig oder falsch war, aber keine Informationen gegeben werden, wie die Antwort hätte richtig lauten können. Die Art und Weise, wie Feedback gegeben wird, also der Feedbackkanal, kann stark variieren. Neben schriftlichem kann auch gesprochenes Feedback eingesetzt werden. Außerdem sind auch video-, audio- oder computergestützte Feedbackversionen einsetzbar. Der Feedbackkanal hängt stark vom rückgemeldeten Inhalt und dem Feedbackempfänger sowie den technischen Voraussetzungen ab. Die Feedbackrichtung ist ein weiteres wichtiges Merkmal. Im schulischen Kontext ist Feedback von der Lehrperson an die Schüler:innen oder auch umgekehrt eine häufige Feedbackrichtung. Diese wird stark vom Kontext beeinflusst, in dem das Feedback gegeben wird. Für jedes Feedback gilt, dass es für den Feedbackempfänger verständlich formuliert sein muss. Dies beeinflusst, wie viele Informationen aus dem Feedback aufgenommen und reflektiert werden. Dass Feedback einen konkreten Bezug zu einer bearbeiteten Aufgabe nimmt, ist im schulischen Kontext von äußerst großer Relevanz. Abhängig von der formalen Gestaltung und des rückgemeldeten Inhalts von Feedback entstehen grundlegend unterschiedliche Versionen von Feedback, welche hinsichtlich der Lernunterstützung unterschiedliche Effekte erzielen.

Hild et al. (2020) konnten zeigen, dass Schüler:innen am meisten profitieren, wenn Feedback ausschließlich Informationen zum aktuellen Lernstand enthält. Ropohl und Scheuermann (2018) hingegen stellten fest, dass Feedback mit Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu den nächsten Schritten am effektivsten ist. Dieser Forschungsbefund ist konform mit den Befunden von Hattie und Timperley (2007). Auch Kluger und DeNisi (1996) zeigten, dass Feedback lernwirksamer ist, wenn es sich auf vorher festgelegte Lernziele bezieht. In der Studie von Wollenschläger et al. (2011) ist ein zentraler Befund, dass Feedback, welches Bezug zu erreichten Stufen eines Kompetenzmodells nimmt, wirksamer ist als solches ohne den Bezug zu einer erreichten Kompetenzstufe. Bangert-Drowns et al. (1991) und Kluger und DeNisi (1996) berichten, dass Feedback dann unterstützend ist, wenn es Bezug zu der bearbeiteten Aufgabe nimmt und mithilfe von Beispielen die richtige Antwort aufzeigt. Weniger effektiv ist hingegen Feedback, das lediglich darüber informiert, was richtig oder falsch gemacht

wurde. Wisniewski et al. (2020) haben im Rahmen ihrer Meta-Analyse bestätigt, dass die Menge der Feedbackinformationen ein zu berücksichtigendes Merkmal in Bezug auf die Lernunterstützung ist. Außerdem ist die sprachliche Umsetzung der Feedbackinformationen hinsichtlich Verständlichkeit und Formulierung ein weiteres, zu berücksichtigendes Merkmal, wenn eine hohe Lernunterstützung durch das Feedback intendiert wird. Die Diskussion der Umsetzung der Feedbackmerkmale und bisheriger Forschungsergebnisse zeigen, dass Feedback stark differenziell wirkt. Es gibt keine Feedbackform, bestehend aus diversen Kombinationen der oben erklärten Merkmale, die einer anderen grundsätzlich überlegen ist. Das hebt nochmals die Wichtigkeit einer an die intendierte Wirkung des Feedbacks passgenauen Ausarbeitung hervor. Hierbei müssen die formale Gestaltung und der Feedbackinhalt fokussiert werden.

Je nach Umsetzung der Merkmale und der Erstellung des Feedbacks sind unterschiedliche Effekte, nicht nur hinsichtlich des Lernerfolges, sondern auch in Bezug auf das Adressieren weiterer kognitiver und affektiver Schüler:innenmerkmale zu erwarten.

Hild et al. (2020), Ropohl und Scheuermann (2018) sowie Wollenschläger et al. (2011, 2012) merken an, dass die Rolle von Cognitive Load, Motivation und wahrgenommener Kompetenzunterstützung beim Ausstellen und Geben von Feedback für die Lernunterstützung und den Lernerfolg von Bedeutung sind. Es ist denkbar, dass die formale Gestaltung des Feedbacks und die Feedbackinformationen diese Schüler:innenmerkmale beeinflussen. Durch multiple lineare Regressionen zeigt sich, dass eine höhere Einschätzung der Unterstützung durch das Feedback aufgrund der formalen Gestaltung und der inhaltlichen Umsetzung der Feedbackinformationen mit einem geringeren Cognitive Load einhergeht. Des Weiteren wurde festgestellt, dass eine positivere Wahrnehmung der Unterstützung durch das Feedback aufgrund der inhaltlichen Umsetzung mit einer höheren intrinsischen Motivation einhergeht. Ebenso wurde beobachtet, dass eine bessere Einschätzung der Unterstützung durch das Feedback aufgrund der formalen Gestaltung und der inhaltlichen Umsetzung mit einer höheren wahrgenommenen Kompetenzunterstützung durch das Feedback einhergeht. Es ist festzuhalten, dass, wie bereits in der Forschung angedeutet, die Aufbereitung des Feedbacks den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung beeinflusst.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden gezielt Merkmale in den drei Feedbackversionen variiert, um einen Einfluss auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu nehmen. Die Ergebnisse zu Forschungsfrage 1b werden im Folgenden diskutiert:

## 5. Erste Untersuchung

**Forschungsfrage 1b:** Welchen Einfluss hat Feedback mit unterschiedlichen gestalterischen Schwerpunkten auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie?

**Hypothese 1b:** Sachlich formuliertes Feedback führt zu einem reduzierten Cognitive Load (Scheuermann, 2017). Motivierend formuliertes Feedback führt zu einer erhöhten Motivation (Deci, 1971; Pitt & Norton, 2016). Feedback, das sich durch graphisch dargestellte Informationen auszeichnet reduziert den Cognitive Load und erhöht die Motivation (Mayer, 2001).

Da die Feedbackmerkmale der Kategorien *Gestaltung* und *Inhalt* einen Einfluss auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale nehmen, wurde eine ANCOVA gewählt, um Forschungsfrage 1b zu untersuchen.

Die Ergebnisse der ANCOVA zeigen, dass es keinen signifikanten Effekt der Feedbackversion mit unterschiedlichem gestalterischen Schwerpunkt auf die investierte Denkanstrengung, die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit, den Extraneous Cognitive Load sowie die intrinsische Motivation gibt. Jedoch ist ein signifikanter Effekt der Feedbackversion auf die wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu verzeichnen. Die Schüler:innen, die mit dem graphischen Feedback gearbeitet haben, nehmen die Kompetenzunterstützung dieser Feedbackversion signifikant niedriger wahr als die Schüler:innen, die mit den anderen beiden Feedbackversionen gearbeitet haben. Dies kann mit der für Schüler:innen komplizierten Anordnung der rückgemeldeten Informationen im Feedback begründet werden. Es ist anzunehmen, dass das Ablesen von Lernstand und nächsten Schritten am Tachometer für die Schüler:innen herausfordernd ist und sie nur bedingt zwischen diesen Informationen differenzieren können, was zu einer geringeren Kompetenzunterstützung führt. In den anderen beiden Feedbackformen sind Lernstand und nächste Schritte deutlicher erkennbar. Die Studien von Ropohle & Scheuermann (2018) sowie Wollenschläger et al. (2012) zeigen zudem, dass die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Feedback variiert, wenn der Informationsgehalt unterschiedlich ist. Die umgesetzten gestalterischen Schwerpunkte des Tons (sachlich vs. motivierend) und der grafischen Informationspräsentation in den Feedbackformen beeinflussen weder den Cognitive Load noch die Motivation. Eine mögliche Erklärung ist, dass der Umfang des sachlichen Feedbacks durch die Art und Weise der Formulierung der Informationen zu stark reduziert wurde, was dazu führt, dass die Schüler:innen mehr kognitive Ressourcen aufwenden müssen, wodurch der Cognitive Load steigt. Der Umfang des motivierenden Feedbacks könnte aufgrund des abschließenden motivierenden Textes zu hoch gewesen sein, was ebenfalls einen

erhöhte Cognitive Load zur Folge hat. Da im graphischen Feedback unterschiedliche Informationen durch Texte und Grafiken rückgemeldet werden, müssen die Schüler:innen kognitive Ressourcen für das Zusammenführen von Informationen aufwenden, was den Cognitive Load ebenfalls erhöht. Der Split Attention Effect kann eintreten, da die Feedbackinformationen nur durch eine Kombination von Text und Grafik erschlossen werden können, was zu einem erhöhten Extraneous Cognitive Load führt (Chandler & Sweller, 1992).

Auch der gewählte Ton des sachlichen und motivierenden Feedbacks ist zu diskutieren. Die sachlich formulierten Informationen des sachlichen Feedbacks könnten bei den Schüler:innen Langeweile auslösen, was den Arbeitsprozess negativ beeinflusst. Die motivierenden Formulierungen des motivierenden Feedbacks könnten zu einer Erleichterung führen, die den weiteren Arbeitsprozess negativ beeinflusst und die Motivation zur weiteren Arbeit hemmt (Pekrun, 2006). Shute (2008) fasst basierend auf den Befunden von Kluger und DeNisi (1996) zusammen, dass Lob sparsam eingesetzt werden sollte, um das Lernen und nicht die Person zu fokussieren. Zudem können die Grafiken des Feedbacks der Untersuchungsgruppe 3 als wenig motivierend charakterisiert werden, da diese keine dekorative, sondern eine instruktionale Funktion einnehmen (Schnotz, 2009). Die variierten Merkmale der drei Feedbackversionen führen vermutlich nicht zu deutlich unterschiedlichen Feedbacks, die für ungeübte Schüler:innen nur schwer wahrnehmbar sind. So ist es möglich, dass vor allem Schüler:innen, die unerfahren in der Arbeit mit Feedback sind, diese Unterschiede nur eingeschränkt wahrnehmen.

Da aus den erhobenen Daten dieser Untersuchung hervorgeht, dass individuelles schriftliches Feedback, wie es in dieser Untersuchung eingesetzt wurde, normalerweise keine Anwendung im Unterricht der teilnehmenden Schüler:innen findet, ist von einem großen Neuigkeitseffekt auszugehen (siehe Kapitel 5.2.2). Bereits die Ergebnisse der PISA Studie aus dem Jahr 2015 belegen, dass das Unterrichtsmerkmal des konstruktiven Feedbacks in Deutschland unterhalb des OECD-Durchschnittes liegt. Die befragten Jugendlichen in Deutschland melden zurück, dass sie weniger individuelles Feedback zu ihrer Leistung wahrnehmen. Gerade ein Fünftel berichtet vom Erhalten von Feedback im naturwissenschaftlichen Unterricht, das Hinweise zur Verbesserung von Leistung umfasst (Schiepe-Tiska et al., 2016). Der Einsatz konstruktiven Feedbacks von Lehrpersonen an Schüler:innen zur Förderung der Kompetenzen beim Planen von Experimenten sollte somit weiter stark gefördert werden. Bestätigend zeigen die Daten der Untersuchung, dass Feedback einen positiven Einfluss auf Lernerfolg nimmt.

## 5. Erste Untersuchung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die formale Gestaltung und der Inhalt des Feedbacks großes Potenzial bieten, um dieses lernunterstützend zu gestalten und vor allem durch die gestalterische Aufbereitung Effekte auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale zu erzielen. Wie Feedback im Sinne eines Unterstützungsmaterials aussehen kann, das Einfluss auf Cognitive Load, Motivation und Kompetenzunterstützung nimmt, muss jedoch weiter erforscht werden.

### **Qualitative Ergebnisse**

Um weitere Erkenntnisse über die Gestaltung und den Inhalt des Feedbacks zu erlangen, werden im Folgenden die qualitativen Ergebnisse diskutiert.

Im Rahmen der Auswertung qualitativer Daten konnten Erkenntnisse gewonnen werden, wie das Feedback weiter verbessert werden kann. Hierbei wurde konkret betrachtet, inwiefern das Feedback hinsichtlich des Adressierens von Cognitive Load und Motivation passender sein kann, damit die Schüler:innen noch stärker unterstützt werden. Es konnte bereits gezeigt werden, dass die formale Gestaltung und inhaltliche Aufbereitung von Feedback wichtige Faktoren sind, um den Lernerfolg und die Unterstützung zu gewährleisten. Es zeigt sich aber auch, dass dies sehr unterschiedlich ausfällt, da dies vom Feedbackempfänger und Feedbackgegenstand abhängig ist. Somit ist es umso bedeutsamer, dass die Feedbackempfänger, im Fall der vorliegenden Untersuchung die Schüler:innen, konkrete Verbesserungsvorschläge liefern und dabei den Feedbackgegenstand berücksichtigen.

Die Schüler:innen geben an, dass der Cognitive Load stärker reduziert werden kann, indem das Feedback, zusätzlich zum Text, Abbildungen, z. B. in Form von Bildern oder Grafiken enthält. Dieser Punkt ist äußerst kritisch zu betrachten, da durch den Split Attention Effect der Extraneous Cognitive Load extrem steigen würde. Um Bilder sinnvoll im Rahmen des Feedbacks einzubinden und nicht den Cognitive Load unnötig zu erhöhen, können die Gestaltungsprinzipien der CTML (Mayer, 2005, 2009, 2014) herangezogen werden. Des Weiteren wurde vorgeschlagen, dass die Gestaltung von Feedback in Form von einer Tabelle, z.B. zum Ankreuzen, umgesetzt werden kann. Dies ist durchaus denkbar und wurde in einigen Studien bereits positiv ausgeführt. Zudem soll das Feedback auf der inhaltlichen Ebene einfacher formuliert und Fachbegriffe besser erklärt werden. Diese beiden inhaltlichen Verbesserungsvorschläge sind äußerst bedeutsam, da die Verständlichkeit des Feedbacks beeinflusst, wie viele Informationen aus dem Feedback aufgenommen und reflektiert werden.

Um die Motivation steigernde Funktion von Feedback zu verbessern, geben die Schüler:innen an, dass der Umfang der Feedbackinformationen so gering wie möglich gehalten werden soll. Hierbei ist den Schüler:innen aber wichtig, dass besonders ihr



Lernstand hervorgehoben wird, da diese Informationen besonders motivierend sind. Sie schlagen vor, dass Farben eingesetzt werden. So könnte der Lernstand in grün oder grau und die nächsten Schritte in rot hinterlegt werden. Dadurch wird schnell ersichtlich, welche Informationen als „Lernstand“ und welche Informationen als „nächste Schritte“ anzusehen sind.

Ein Verbesserungsvorschlag der Schüler:innen, welcher sowohl als hilfreich für das Reduzieren des Cognitive Load als auch für das Steigern der Motivation genannt wurde, ist der Einsatz von Beispielen. Obwohl dies bereits im Feedback umgesetzt wurde, wurde angemerkt, dass dies noch ausführlicher geschehen kann. Da aus der Literatur bekannt ist, dass Beispiele für korrekte Antworten lernunterstützend sind, sollte dieser Punkt in der weiteren Gestaltung von Feedback berücksichtigt werden (Bangert-Drowns et al., 1991; Kluger & DeNisi, 1996).

Des Weiteren haben die Schüler:innen Verbesserungsvorschläge für sprachlich schwierige Formulierungen gegeben. Sie wünschen sich, dass schwierige durch einfachere Fachbegriffe ersetzt werden. Dies muss kritisch betrachtet werden. Einerseits muss das Feedback für die Schüler:innen sprachlich gut zugänglich sein und andererseits muss das Feedback ein gewisses Anforderungsniveau an die Schüler:innen stellen. Somit muss bei der sprachlichen Überarbeitung des Feedbacks entschieden werden, welche Begriffe notwendig und adäquat und welche plausibel ersetzbar sind. Im Allgemeinen soll die Wortwahl des Feedbacks schülergerechter sein. Auch das sollte berücksichtigt werden, da der Inhalt für den Feedbackempfänger sprachlich gut zugänglich sein muss. Zudem sollen noch mehr motivierende Formulierungen eingesetzt werden. Dies wurde von Schüler:innen aus allen drei Untersuchungsgruppen angegeben. Dies zeigt, dass die Schüler:innen wahrnehmen, ob ihr individuelles Feedback bereits motivierende Merkmale enthält oder ob dies noch verbessert werden kann. Da die Auswirkungen übermäßigen Lobes zuvor kritisch diskutiert wurden, sollte dies bei der Überarbeitung des Feedbacks berücksichtigt werden und eher sparsam eingesetzt werden.

### **5.4 Limitationen**

Die Feedbackmerkmale werden in Bezug auf die bearbeitete Aufgabe, das Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie im Inhaltsfeld „Salze und Ionen“ von den Schüler:innen als unterstützend wahrgenommen. Es bleibt zu prüfen, ob sie auch für Feedback zu Experimentplanungen anderer chemischer Themen gelten. Es kann keine sichere Aussage darüber getroffen werden, ob sie auch für andere Formen von Feedback, z. B. Self- oder Peer-Feedback, als unterstützend wahrgenommen werden. Die Erkenntnisse gelten lediglich für den Chemieunterricht der

## 5. Erste Untersuchung

Jahrgangsstufe 9 an Gymnasien und eine Verallgemeinerung auf andere Jahrgangsstufen, Schulformen oder Unterrichtsfächer bleibt offen. Die externe Validität ist dadurch eingeschränkt. Da der Fokus dieser Untersuchung auf der Kompetenz des Planens von Experimenten liegt und weitere Denk- und Arbeitsweisen, wie z. B. das Durchführen von Experimenten, nicht betrachtet wurden, ist die interne Validität hoch, die Befunde jedoch nicht ohne weitere Untersuchungen auf Unterricht übertragbar. Zudem zeigte eine Power-Analyse ( $\alpha = .05$ ,  $f = .25$ ,  $N = 98$ ,  $df = 2$ ), dass aufgrund der leicht zu geringen Stichprobengröße eine zu geringe statistische Power von  $1 - \beta = .58$  vorliegt. Die Ergebnisse sind vor diesem Hintergrund eingeschränkt interpretierbar.

Mit den zwei einzelnen Likert-skalierten Items zur Erfassung des Cognitive Load (Kalyuga et al., 1999; Sweller, 1988) wurden statistische Analysen gerechnet, welche auf der Anwendung parametrischer Testverfahren beruhen. Baur und Blasius (2022) erlauben dieses Vorgehen, mit der Bedingung, dass die optimale Anzahl an Antwortkategorien sieben plus/minus zwei Stufen beträgt (Bühner, 2021; Porst, 2014).

### **Schlussfolgerungen hinsichtlich der Forschungsfrage 1**

Die Forschungsfrage 1 adressiert das Überprüfen unterstützender Feedbackmerkmale beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie. Um diese Merkmale im eingesetzten individuellen lernbegleitenden Feedback zu identifizieren, wurde ein Einschätzungsbogen zur Bewertung der Unterstützung des Feedbacks beim Lernen eingesetzt. Des Weiteren wurde der Effekt der Feedbackversionen auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung der Schüler:innen betrachtet.

Allgemein ist festzuhalten, dass Schüler:innen das Aufführen des Lernziels und den Weg dorthin sowie den Lernstand und die nächsten Schritte als unterstützend einschätzen. Somit ist die Beantwortung der drei Feedbackfragen, die auch Hattie und Timperley (2007) vorschlagen, besonders wichtig, was auch Ropohl und Scheuermann (2018) bestätigt haben. Des Weiteren ist das Aufzeigen von Fehlern und das Angeben von Beispielen, wie man die Fehler verbessern kann, ebenfalls unterstützend. Das bestätigen auch Bangert-Drowns et al. (1991) und Kluger & DeNisi (1996) in ihren Meta-Analysen. Zusätzlich nehmen Schüler:innen das Feedback zum Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie als besonders unterstützend wahr, da es schriftlich vorliegt. Dass das Feedback einen konkreten Bezug zu einer bearbeiteten Aufgabe nimmt und besonders verständlich formuliert ist, gilt ebenso als unterstützend. Speziell in diesem Kontext werden der Umfang des Feedbacks und die positive Bestärkung durch Feedbackinformationen nicht als unterstützende Merkmale wahrgenommen.

Abschließend ist festzuhalten, dass die formale Gestaltung und die inhaltliche Aufbereitung des Feedbacks wichtige Faktoren sind, damit das Feedback lernunterstützend ist. Zudem hat Feedback das Potenzial kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale zu adressieren. Diese Untersuchung gibt eine erste Antwort darauf, welche Feedbackmerkmale als unterstützend wahrgenommen werden und welche Merkmale das Potenzial besitzen den Cognitive Load zu reduzieren und die Motivation zu steigern, damit das Feedback als unterstützend wahrgenommen wird und zu Lernerfolg führt. In dieser Untersuchung konnte kein statistisch signifikanter Unterschied für die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit, die investierte Denkanstrengung und für den Extraneous Cognitive Load sowie für in der Motivation der Schüler:innen der drei Untersuchungsgruppen festgestellt werden. Da diese aber wichtige Lernerfolgsfaktoren sind, gilt es in der zweiten Untersuchung das Feedback basierend auf den Daten der ersten Untersuchung zu überarbeiten und literaturbasiert hinsichtlich kognitiver und affektiver Facetten weiter ausdifferenzieren.

Ein Ansatz hierfür ist das Kombinieren von textueller und bildlicher Informationspräsentation gemäß den Kriterien der CTML (Mayer, 2005, 2009, 2014). Das Einbinden von Bildern, welche den Experimentierprozess abbilden, wurde von den Schüler:innen im Rahmen der ersten Untersuchung als Verbesserungsvorschlag für das Feedback genannt. Um ausschließlich eine Variation der Gestaltung des Feedbacks vorzunehmen und den Inhalt konstant zu halten, wird ein Szenario basierter Ansatz als Untersuchungsdesign gewählt, was in Kapitel 6.1.1 näher erläutert wird.



## **6. Zweite Untersuchung**

Zur Untersuchung des Einflusses von Feedbackversionen, die sich durch gestalterische Variationen des rückgemeldeten Inhalts über nur Texte, nur Bilder oder eine Kombination aus Texten und Bildern auszeichnen, auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung der Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie, wurde eine Querschnittserhebung durchgeführt. In drei Untersuchungsgruppen wurden das Nur-Text, das Nur-Bild und das Text-Bild Feedback kontrastiert. Eine Vergleichsgruppe, die auch Feedback erhalten hat, dient als Referenz.

### **6.1 Methodik**

#### **6.1.1 Untersuchungsdesign**

In dieser Untersuchung umfasst die Datenerhebung, anders als in der ersten Untersuchung, lediglich eine Sitzung, da ein Szenario basierter Untersuchungsansatz gewählt wurde. Ein Szenario basierter Ansatz ermöglicht die systematische und kontrollierte Variation lediglich der Gestaltung des Feedbacks bei vollständigem Konstanthalten der rückgemeldeten Feedbackinformationen (Berndt et al., 2018; Bolzer et al., 2015; Robinson & Clore, 2001). Die Testsitzung wurde folgendermaßen im Sinne einer Lerngelegenheit umgesetzt: Die Schüler:innen erhalten eine vorgefertigte Experimentplanung, die nicht alle notwendigen Merkmale der Variablenkontrollstrategie beinhaltet. In Bezug auf diese vorgefertigte Planung wurde das Feedback generiert. Die Feedbackversionen unterscheiden sich somit nicht im rückgemeldeten Inhalt, sondern ausschließlich in der Gestaltung der rückgemeldeten Informationen. Die Schüler:innen haben die vorgefertigte Experimentplanung mithilfe des jeweiligen Feedbacks überarbeitet und auf dem Forscherbogen neu verschriftlicht. Diese überarbeitete Experimentplanung wurde mithilfe des Bewertungsschemas bewertet.

Zu Beginn der Sitzung und zwischen den Aufgabenabschnitten wurden die Aufgabenstellungen durch die Testleitung erklärt. Die zur Verfügung stehende Zeit wurde den Schüler:innen vor jedem neuen Aufgabenabschnitt mitgeteilt. Jeder Aufgabenabschnitt wurde im Klassenverbund begonnen und das Testheft wurde insgesamt in Einzelarbeit bearbeitet.

Die thematische Ausrichtung der Datenerhebung erfolgte auf Grundlage des Kernlehrplans für das Fach Chemie an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Das Thema „Salze und Ionen“ des Inhaltsfeldes 6 wird regulär in der 8. Jahrgangsstufe unterrichtet. Aufgrund des Entfalls von Unterricht während der Corona Pandemie kam

## 6. Zweite Untersuchung

es jedoch zu Verzug in den Inhaltsfeldern, sodass die Datenerhebung in der 9. Jahrgangsstufe durchgeführt wurde.

**Testsitzung der Datenerhebung:** Zunächst füllten die Schüler:innen einen Fachwissenstest zum Thema „Salze und Ionen“, den kognitiven Fähigkeitstest (N1-Subskala zur Figurenklassifikation) (Heller & Perleth, 2000) und einen Test zum Wissen über die Variablenkontrollstrategie (Nehring, 2014) aus.

Anschließend sollten sich die Schüler:innen in eine Unterrichtssituation im Chemieunterricht hineinversetzen und die Experimentplanung der Schülerin Lea, welche die vorgefertigte Experimentplanung darstellt, lesen. Auf dem Forscherbogen von Lea wurde ein Experiment zum Vergleich der Leitfähigkeit einer Kochsalz- und einer Zuckerlösung geplant und die Variablenkontrollstrategie nicht in vollem Umfang angewendet. Die Frage und die Hypothese, die dem zu planenden Experiment zugrunde liegen, wurden vorgegeben. Die Frage lautet „Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?“. Hierzu wurde folgende Hypothese angegeben: „Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckerlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.“. Im Anschluss daran haben die Schüler:innen das jeweilige Feedback zu Leas Experimentplanung gelesen und nachfolgend die Experimentplanung von Lea basierend auf den Informationen des Feedbacks verbessert und auf dem Forscherbogen neu, in eigenen Worten, verschriftlicht. Folgend haben die Schüler:innen den Cognitive Load (Kalyuga et al., 1999; Paas, 1992), die Motivation (Fechner, 2009; Hauerstein, 2019; Haugwitz, 2009) und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung (Bürgermeister et al., 2011) eingeschätzt. Abschließend haben die Schüler:innen das erhaltene Feedback mit Hilfe des Einschätzungsbogens aus Untersuchung 1 bewertet und aufgeschrieben, welche Facetten an dem Feedback schon gut waren und welche noch verbessert werden sollten.

### 6.1.2 Stichprobe

Die Querschnittserhebung wurde mit insgesamt  $N = 290$  Schüler:innen der 9. Jahrgangsstufe an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Die Schüler:innen wurden vollständig randomisiert einer der vier Untersuchungsgruppen und damit einer der vier Feedbackversionen zugeordnet. Das Feedback der Vergleichsgruppe haben  $n = 67$ , das Nur-Text Feedback haben  $n = 74$ , das Nur-Bild Feedback haben  $n = 75$  und das Text-Bild Feedback haben  $n = 74$  Schüler:innen erhalten. Die Schulleitungen, die Lehrkräfte sowie die Eltern der Schüler:innen haben zur Durchführung der Datenerhebung eingewilligt. An den teilnehmenden Schulen wurde das Fach Chemie ab der

7. Klasse unterrichtet. Die Datenerhebung fand in den regulären Chemieunterrichtsstunden statt, an denen die Schüler:innen aufgrund ihrer Schulpflicht teilnehmen mussten. Der zeitliche Umfang einer jeden Testsitzung wurde trotz unterschiedlich langer Unterrichtsstunden gleich gehalten.

Da die Beschreibung des Forscherbogens und des Bewertungsschemas für die verbale schriftliche Experimentplanung identisch zur ersten Untersuchung sind (siehe Kapitel 5.1.4 und 5.1.5), wird im Folgenden das Feedback beschrieben.

### 6.1.3 Feedback

Das Feedback wurde basierend auf der Bewertung der vorgefertigten Experimentplanung mithilfe des Bewertungsschemas (siehe Tabelle 3) ausgestellt und kann als simuliertes Feedback bezeichnet werden, da es sich auf die Experimentplanung einer fiktiven Schülerin bezieht. Das Feedback enthält immer Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu den nächsten Schritten. Abhängig von der Untersuchungsgruppe enthält das Feedback nur textliche, nur bildliche oder eine Kombination aus textlichen und bildlichen Informationspräsentationen. Die Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie, die in der vorgefertigten Experimentplanung schon in vollem Umfang umgesetzt wurden und mit 2 Punkten gemäß Tabelle 3 bewertet wurden, wurden als Lernstand rückgemeldet. Alle anderen Merkmale, die gar nicht oder nur teilweise in der vorgefertigten Experimentplanung aufgeführt wurden (0 oder 1 Punkt gemäß Tabelle 3), wurden als nächste Schritte aufgeführt. Inhaltlich wurden in allen drei Feedbackversionen sowie im Feedback der Vergleichsgruppe die gleichen Informationen rückgemeldet, da alle Schüler:innen die identische vorgefertigte Experimentplanung erhalten haben. Die Feedbackversionen haben einige Charakteristika gemeinsam, welche im Rahmen der ersten Untersuchung als unterstützende Feedbackmerkmale identifiziert werden konnten (siehe Kapitel 5.2.4). Damit die Schüler:innen wissen, wie mit dem Feedbackbogen gearbeitet werden muss, gibt es dazu einen kurzen einführenden Text zu Beginn des Feedbackbogens. Außerdem werden Informationen darüber rückgemeldet, welche Merkmale der Variablenkontrollstrategie bei der Planung bereits berücksichtigt wurden und welche noch fehlen. Es werden somit immer Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu den nächsten Schritten rückgemeldet. Das Lernziel ist, wie bereits in der ersten Untersuchung, die Anwendung aller Merkmale der Variablenkontrollstrategie. Die Informationen zum Lernziel werden in allen Feedbackversionen gleichermaßen präsentiert. Diese sind immer zu Beginn des Feedbackbogens in Form von Stichpunkten aufgeführt. Zudem zeichnen sich die Feedbackversionen dadurch aus, dass die Schüler:innen direkt adressiert werden. Eine weitere Charakteristik, die die Nur-Text, Nur-Bild

## 6. Zweite Untersuchung

und Text-Bild Feedbackversionen gemeinsam haben, ist das Aufführen von Beispielen, wie Merkmale der Variablenkontrollstrategie, die noch nicht berücksichtigt wurden, beim nächsten Mal eingeplant werden können. Die Feedbackversionen unterscheiden sich in der gestalterischen Aufbereitung der Informationspräsentation von Lernstand und nächsten Schritten, welche im Folgenden beschrieben wird.

### **Feedback der Vergleichsgruppe**

Das Feedback der Vergleichsgruppe (siehe Abbildung 11) ist sehr kurzgehalten. Hier werden die Lernziele dazu genutzt, um Rückmeldung zu geben. Ist die Box vor einem Lernziel mit einem kleinen Haken versehen, zählt dieses Merkmal der Variablenkontrollstrategie zum Lernstand und wurde schon eingeplant. Alle Lernziele, die nicht abgehakt sind, zählen zu den nächsten Schritten. Das Feedback beinhaltet, wie oben beschrieben, keine Beispiele dazu, wie noch fehlende Merkmale der Variablenkontrollstrategie eingeplant werden könnten. Die Informationen, die in diesem Feedback enthalten sind, sind auch in den anderen drei Feedbackversionen enthalten.

### **Nur-Text Feedback**

Der Lernstand und die nächsten Schritte werden in dieser Feedbackversion (siehe Abbildung 12) in zwei separaten Boxen als Text präsentiert. Die Informationen zum Lernstand werden mit der Überschrift „In der Experimentplanung wurden folgende Merkmale richtig gut umgesetzt“ eingeleitet. Darauffolgend sind die Merkmale der Variablenkontrollstrategie aufgeführt, die in der vorgefertigten Experimentplanung schon einbezogen wurden. Diese Merkmale werden als Stichpunkte präsentiert und mit einer kleinen abgehakten Box versehen. In der danebenstehenden Box sind die Informationen zu den nächsten Schritten aufgeführt. Diese werden mit der Überschrift „Bei weiteren Experimentplanungen sollten folgende Merkmale verbessert werden“ eingeleitet und führen Merkmale der Variablenkontrollstrategie auf, die noch nicht eingeplant wurden. Auch hier werden die Informationen zu den nächsten Schritten als Stichpunkte präsentiert. Die kleine Box vor dem Stichpunkt ist jedoch nicht abgehakt.

### **Nur-Bild Feedback**

Im Nur-Bild Feedback (siehe Abbildung 13) sind die Informationen zum Lernstand und zu den nächsten Schritten als Bilder präsentiert. Die Bilder in dieser Feedbackversion stellen die Schritte im Experimentierprozess dar, welche in der Experimentplanung berücksichtigt werden müssen, um alle Merkmale der Variablenkontrollstrategie zu erfüllen. Die Informationen zu den nächsten Schritten befinden sich in den roten



Boxen auf den Bildern. Alle Merkmale, die eingerahmt wurden, müssen bei der Experimentplanung noch einbezogen werden, um die Variablenkontrollstrategie vollständig anzuwenden. Alles, was nicht eingerahmt ist, wurde bereits in der Experimentplanung berücksichtigt und zählt zum Lernstand.

### **Text-Bild Feedback**

Die Bilder in dieser Feedbackversion (siehe Abbildung 14) sind identisch zu denen im Nur-Bild Feedback. Der Text stellt im vorliegenden Fall eine zusätzliche Informationsquelle dar. Die Aufbereitung des Text-Bild Feedbacks orientiert sich an den Gestaltungsprinzipien der CTML. Durch das Kombinieren von Text und Bild wird das Multimedia Principle genutzt, um Informationen auf dem verbalen und visuellen Kanal zu präsentieren. Werden Text und Bild kombiniert, ist laut dem Spatial Contiguity Principle darauf zu achten, dass Bilder räumlich nah zum korrespondierenden Text dargestellt sind. Das Signaling Principle wird dazu genutzt die Feedbackinformationen der nächsten Schritte zu präsentieren. Durch das Einrahmen von nicht bedachten Merkmalen der Variablenkontrollstrategie mit einem roten Kasten wird die Aufmerksamkeit der Schüler:innen gezielt auf diese Bildelemente gelenkt. Zusätzlich dazu sind die korrespondierenden Textbausteine ebenfalls rot eingerahmt. Alles, was nicht eingerahmt ist, wurde bereits in der Experimentplanung berücksichtigt und zählt zum Lernstand. Die Bilder, die in diesem Feedback abgebildet sind, können als instruktionale Bilder klassifiziert werden, da diese notwendig sind, um Informationen zu erlangen. Gemäß des Coherence Principle handelt es sich hierbei um sinnvoll gewählte Bilder, welche nicht als seductive detail eingeordnet werden. Seductive details wiederum werden von den Schüler:innen als interessant empfunden aber sind für das Erreichen des Lernziels irrelevant. Somit wurde darauf geachtet, dass ausschließlich Bilder präsentiert werden, die für den Lernprozess relevante Informationen enthalten. Wie zuvor geschrieben, werden die Schüler:innen direkt adressiert, was dem Personalization Principle folgt. Dieses Gestaltungsprinzip besagt, dass Schüler:innen effektiver lernen, wenn Text im Gesprächsstil präsentiert wird. Für eine detailliertere Beschreibung der Gestaltungsprinzipien siehe Kapitel 2.3.2.

## 6. Zweite Untersuchung

**Hier ist dein FEEDBACKBOGEN!**

Mit dem Bogen erhältst du Feedback zu dem geplanten Experiment. Die Merkmale, die schon richtig gut umgesetzt wurden, sind mit einem Haken versehen (☑). Die Merkmale, die beim nächsten Mal noch verbessert werden müssen, sind nicht abgehakt (☐).

- Du überprüfst die Vermutung vollständig.
- Du benennst die zu untersuchenden Stoffe richtig.
- Du beschreibst die zu untersuchenden Stoffe mit genauen Angaben.
- Du untersuchst eine chemische Fragestellung.
- Du setzt ein Messinstrument ein.
- Du betrachtest die zu untersuchenden Stoffe in einer festgelegten Zeit.
- Du hältst mindestens zwei Einflussfaktoren gleich.
- Du beschreibst eine Wiederholung und einen Parallelansatz des Experiments.




Abbildung 11: Feedback der Vergleichsgruppe der zweiten Untersuchung

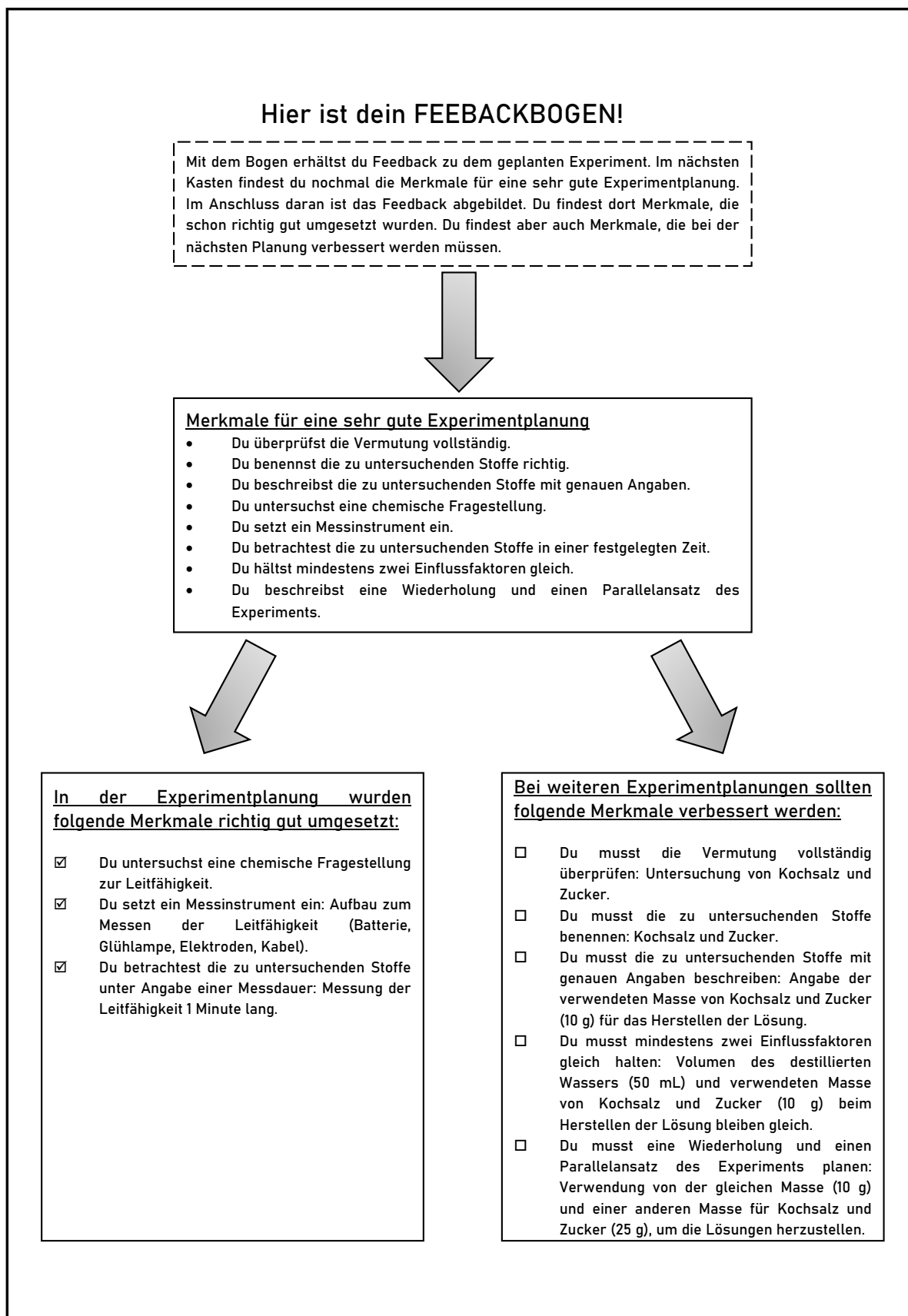


Abbildung 12: Nur-Text Feedback der zweiten Untersuchung

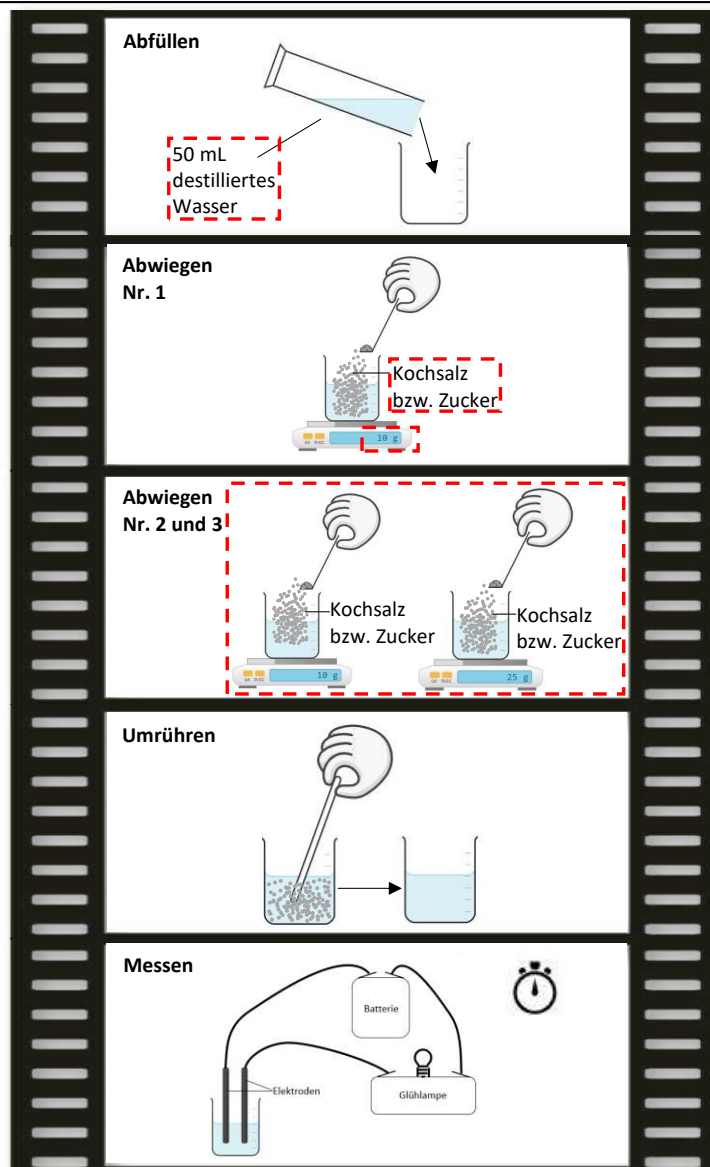
## 6. Zweite Untersuchung

### Hier ist dein FEEBACKBOGEN!

Mit dem Bogen erhältst du Feedback zu dem geplanten Experiment. Im nächsten Kasten findest du nochmal die Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung. Im Anschluss daran ist das Feedback abgebildet. Du findest dort Merkmale, die schon richtig gut umgesetzt wurden. Du findest aber auch Merkmale, die bei der nächsten Planung verbessert werden müssen. Die Merkmale, die noch verbessert werden müssen, sind in der Abbildung mit einem roten Kasten eingerahmt.

#### Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung

- Du überprüfst die Vermutung vollständig.
- Du benennst die zu untersuchenden Stoffe richtig.
- Du beschreibst die zu untersuchenden Stoffe mit genauen Angaben.
- Du untersuchst eine chemische Fragestellung.
- Du setzt ein Messinstrument ein.
- Du betrachtest die zu untersuchenden Stoffe in einer festgelegten Zeit.
- Du hältst mindestens zwei Einflussfaktoren gleich.
- Du beschreibst eine Wiederholung und einen Parallelansatz des Experiments.



Created with Chemix (<https://chemix.org>)

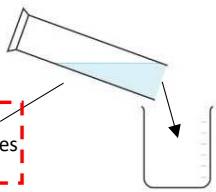
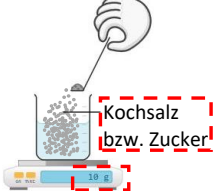
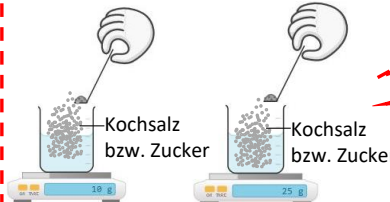
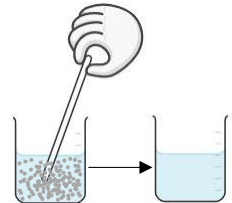
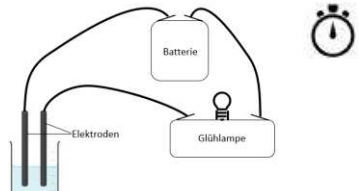
Abbildung 13: Nur-Bild Feedback der zweiten Untersuchung

## Hier ist dein FEEBACKBOGEN!

Mit dem Bogen erhältst du Feedback zu dem geplanten Experiment. Im nächsten Kasten findest du nochmal die Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung. Im Anschluss daran ist das Feedback abgebildet. Du findest dort Merkmale, die schon richtig gut umgesetzt wurden. Du findest aber auch Merkmale, die bei der nächsten Planung verbessert werden müssen. Die Merkmale, die noch verbessert werden müssen, sind in der Abbildung und im Text mit einem roten Kasten eingerahmt.

### Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung

- Du überprüfst die Vermutung vollständig.
- Du benennst die zu untersuchenden Stoffe richtig.
- Du beschreibst die zu untersuchenden Stoffe mit genauen Angaben.
- Du untersuchst eine chemische Fragestellung.
- Du setzt ein Messinstrument ein.
- Du betrachtest die zu untersuchenden Stoffe in einer festgelegten Zeit.
- Du hältst mindestens zwei Einflussfaktoren gleich.
- Du beschreibst eine Wiederholung und einen Parallelansatz des Experiments.

<p><b>Abfüllen</b></p>  <p>50 mL destilliertes Wasser</p>	<p><input type="checkbox"/> Das Volumen des destillierten Wassers muss festgelegt werden. Fülle 50 mL destilliertes Wasser ab.</p>
<p><b>Abwiegen Nr. 1</b></p>  <p>Kochsalz bzw. Zucker</p>	<p><input type="checkbox"/> Die verwendete Masse von Kochsalz und Zucker muss festgelegt werden. Wiege jeweils 10 g ab.</p>
<p><b>Abwiegen Nr. 2 und 3</b></p>  <p>Kochsalz bzw. Zucker</p> <p>Kochsalz bzw. Zucker</p>	<p><input type="checkbox"/> Das Experiment muss wiederholt werden. Wiege dafür erneut jeweils 10 g ab.</p> <p><input type="checkbox"/> Es muss ein Parallelansatz durchgeführt werden. Wiege dafür jeweils 25 g ab.</p> <p><input type="checkbox"/> Du hast nun sechs Bechergläser mit unterschiedlichen Lösungen.</p>
<p><b>Umrühren</b></p> 	<p><input checked="" type="checkbox"/> Rühre solange bis Kochsalz bzw. Zucker im destillierten Wasser gelöst sind.</p>
<p><b>Messen</b></p>  <p>Batterie</p> <p>Elektroden</p> <p>Glühlampe</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Überprüfe die Leitfähigkeit.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Nutze einen Aufbau bestehend aus zwei Elektroden, einer Batterie, einer Glühlampe und drei Kabeln.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Lege hierfür eine Zeit fest.</p>

Created with Chemix (<https://chemix.org>)

Abbildung 14: Text-Bild Feedback der zweiten Untersuchung

## 6. Zweite Untersuchung

### 6.1.4 Testinstrumente

Zur Überprüfung des Einflusses von Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Feedback auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung der Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie wurde die zuvor beschriebene Querschnittserhebung durchgeführt. Nachfolgend werden die eingesetzten Testinstrumente erklärt.

Tabelle 26: Übersicht über das Testdesign und die Testinstrumente der zweiten Untersuchung

Gesamtdauer [Minuten]	Dauer der Testabschnitte [Minuten]	Variable	Testinstrument und Quelle	
79	15	Fachwissen	Zum Thema „Salze und Ionen“ (van Vorst, unveröffentlicht)	
	9	Kognitive Fähigkeiten	Kognitiver Fähigkeits-Test für 9. Klassen - Subskala N1 Figurenklassifikation von Heller and Perleth (2000)	
	15	Variablenkontrollstrategie	Wissen über die Variablenkontrollstrategie adaptierter Test nach Nehring (2014)	
	10	Experimentplanung und dazugehöriges Feedback lesen	Experiment (Sieve et al., 2022)	
	15	Experimentplanung mithilfe des Feedbacks überarbeiten	Forscherbogen (Scheuermann, 2017)	
	15		Cognitive Load	Wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit (Kalyuga et al., 1999) und investierte Denkanstrengung (Paas, 1992)
			Motivation	Fechner 2009, Haugwitz 2009, Hauserstein 2019
		Wahrgenommene Kompetenzunterstützung	Schülerfragebogen von Bürgermeister et al. (2011)	
		Bewertung des Feedbacks	Eigenentwicklung nach u.a. Brookhart (2010), Hattie & Timperley (2007), Wisniewski et al. (2019)	

In der zweiten Untersuchung wurden dieselben Testinstrumente wie in der ersten Untersuchung eingesetzt (siehe Kapitel 5.1.6). Lediglich die Motivation wurde mit einem anderen Testinstrument erhoben. Im Folgenden werden die Reliabilitäten der jeweiligen Testinstrumente berichtet. Lediglich die Skala zur Erhebung der Motivation wird in diesem Kapitel beschrieben.

**Fachwissen:** Das Fachwissen wurde im Sinne einer Kontrollvariable erhoben. In Anlehnung an die Analysen der ersten Studie wurden 19 Items im Multiple-Choice-Single-Select Format genutzt. Im Rahmen der zweiten Untersuchung wurde eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .65$  ermittelt (Moosbrugger & Kelava, 2020).

**Kognitive Fähigkeiten:** Die kognitiven Fähigkeiten wurden ebenfalls als Kontrollvariable erhoben. Es wurde eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .88$  ermittelt.

**Wissen über die Variablenkontrollstrategie:** Das Wissen über die Variablenkontrollstrategie wurde als dritte Kontrollvariable erhoben. Es wurde eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .63$  ermittelt.

**Experimentplanung:** Die Experimentplanung wurde anhand des Bewertungsschemas zu den Merkmalen der Variablenkontrollstrategie kodiert (siehe Kapitel 5.1.5). Für die Berechnung der Reliabilität wurden die Merkmale der Experimentplanung als Items der offenen Aufgabe betrachtet. Die Reliabilität beträgt  $\alpha = .79$  und kann als angemessen eingeordnet werden.

**Cognitive Load:** Der Cognitive Load soll durch das Feedback beeinflusst werden und wurde nach der Arbeit mit dem Feedback mit den Items zur wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit von Kalyuga et al. (1999) und zur investierten Denkanstrengung von Paas (1992) erhoben. Es wird darauf verzichtet den Extraneous Cognitive Load zu erheben, da auf Grund des Szenario basierten Untersuchungsansatzes lediglich die Gestaltung des Feedbacks zwischen den Versionen variiert wurde.

**Motivation:** Die Motivation soll durch das Feedback beeinflusst werden und wurde nach der Arbeit mit dem Feedback erhoben. Hierzu wurde die Skala aus der Arbeit von Hauerstein (2019) an das Lernen mit Feedback adaptiert, welche auf den Arbeiten von Fechner (2009) und Haugwitz (2009) beruht. Die Skala deckt die Facetten des Sach- und Fachinteresse sowie der intrinsischen Motivation ab. Die Reliabilität beträgt  $\alpha = .78$  und kann als gut eingeordnet werden.

## 6. Zweite Untersuchung

**Wahrgenommene Kompetenzunterstützung:** Um Informationen über das Feedback zu erhalten, ist es von großer Bedeutung die wahrgenommene Kompetenzunterstützung durch das Feedback zu erheben. Die Reliabilität beträgt  $\alpha = .82$  und kann als hoch eingeordnet werden.

**Bewertung des Feedbacks:** Das erhaltene Feedback wurde mit den in der ersten Untersuchung selbstentwickelten und evaluierten Items erfasst. Die Skala weist eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .85$  auf. Die zusätzlichen offenen Items wurden so konzipiert, dass die Schüler:innen notieren sollten, was ihnen an dem erhaltenen Feedback schon gut gefallen hat und was noch verbessert werden könnte.

### 6.1.5 Statistische Analysen

Zur Analyse des Effekts der verschiedenen Feedbackversionen auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie sowie des Lernerfolges wurden Varianzanalysen herangezogen. Die Bewertung des Feedbacks wurde erneut mit Schwierigkeitsindizes ausgewertet. Für weitere Beschreibungen der Analysen siehe Kapitel 5.1.7. Lediglich Mediationsanalysen ergänzen die statistischen Analysen und werden im Folgenden beschrieben.

**Mediationsanalysen:** Zur Analyse des potenziellen Mediatoreffektes des Cognitive Load, der Motivation und der wahrgenommenen Kompetenzunterstützung wurden Pfadanalysen sowie die Bootstrapping-Methode durchgeführt. Hierzu wurde mit PROCESS von Hayes aus dem Jahr 2023 gearbeitet. Es wurde geprüft, ob der Effekt der unabhängigen Variable (X) auf die abhängige Variable (Y) über einen Mediator (M) vermittelt wird. Der direkte Effekt, welcher der Effekt der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable ist, wird durch c beschrieben. Für eine multikategoriale unabhängige Variable (siehe Abbildung 15) kann der Effekt der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable nicht durch einen Pfad a oder c beschrieben werden. Somit ist eine Dummy-Kodierung vorzunehmen. Eine Ausprägung der unabhängigen Variable ( $x_4$ ) wird als Referenzgruppe herangezogen. Diese wird gleich Null gesetzt. Liegen vier Ausprägungen der unabhängigen Variable ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) vor, so werden drei Dummy-Variablen (D1, D2, D3) erstellt:

D1:  $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 0$ ;

D2:  $x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 0, x_4 = 0$ ;

D3:  $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 1, x_4 = 0$ .



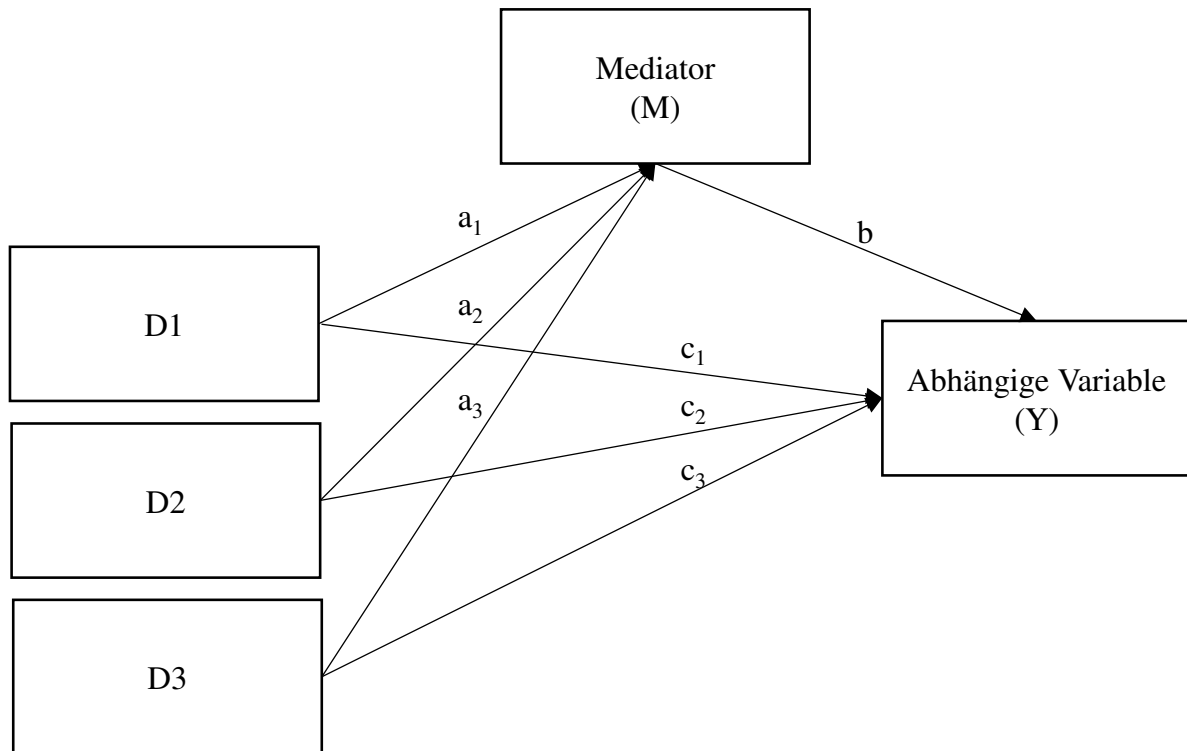


Abbildung 15: Mediatormodell für eine multikategoriale unabhängige Variable

Empfehlenswert ist die Bootstrapping Methode, da diese keine Normalverteilung des indirekten Effekts voraussetzt. Durch Replikation des Datensatzes wird eine Normalverteilung generiert (Hayes, 2018).

### 6.1.6 Kategoriensysteme

Die Auswertung der offenen Items zur Bewertung des individuellen Feedbacks erfolgte mittels qualitativer Inhaltsanalyse. Die Schüler:innen sollten angeben, was ihnen an dem erhaltenen Feedback gut gefallen hat und was noch verbessert werden könnte. Hierzu wurde induktiv je ein Kategoriensystem aus dem vorhandenen Material abgeleitet. Die Hauptkategorien in beiden Kategoriensystemen entsprechen den aus der ersten Untersuchung extrahierten Faktoren im Rahmen der explorativen Faktorenanalyse zu den unterstützenden Feedbackmerkmalen. Die Hauptkategorien sind somit in die Gestaltung und den Inhalt aufgeteilt. Die Ausprägungen stellen die als unterstützend wahrgenommenen Feedbackmerkmale dar. Unter der Kategorie „Gestaltung“ wurde das Feedbackformat aufgenommen. Hierzu zählt als Ausprägung das Nutzen von Text oder Bildern sowie das Angeben von Erklärungen zu den Bildern in Form von Text.

## 6. Zweite Untersuchung

Tabelle 27: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse zu bereits gelungenen Charakteristika des Feedbacks der zweiten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung
Gestaltung	Äußere Gestaltung	Übersichtlich
		Strukturierung
		Umfang
	Innere Gestaltung	Ausführliche Aussagen
		Aufgabenbezug
		Beispiele
		Direkte Ansprache
		Sprachliche Verständlichkeit
	Feedback-format	Text
		Bilder
Text als Erklärungen zu den Bildern		
Inhalt	Feedbackinfos	Lernziel
		Lernstand
		Nächste Schritte
	Affektiver Einfluss	Positive Bestärkung
		Lernerfolg spürbar
		Lernunterstützung gegeben
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Fehlerorientierung
		Unpassende Antwort
		Keine Antwort

Tabelle 28: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse zu noch zu verbessernden Charakteristika des Feedbacks der zweiten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung
Gestaltung	Äußere Gestaltung	Einfacher strukturieren
		Umfang zu hoch
		Umfang zu gering
	Innere Gestaltung	Ausführlichere Aussagen
		Aufgabenbezug
		Beispiele
		Sprachliche Verständlichkeit
	Feedback-format	Text
		Bilder
		Text als Erklärungen zu den Bildern
Inhalt	Feedbackinfos	Lernziel
		Lernstand
		Nächste Schritte
	Affektiver Einfluss	Positive Bestärkung
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Fehlerorientierung
		Unpassende Antwort
		Keine Antwort

### 6.1.7 Prüfung der Voraussetzungen

Die Prüfung der Voraussetzung für das Berechnen parametrischer Tests ergab, dass der Datensatz zu den kognitiven Fähigkeiten, dem Fachwissen und dem Wissen über die Variablenkontrollstrategie die Voraussetzung der Normalverteilung nicht erfüllt. Da an der Datenerhebung Schüler:innen lediglich einer Schulform teilgenommen haben, ist dies nicht unüblich. Im Folgenden werden diese Datensätze trotzdem mittels parametrischer Tests analysiert, da bspw. die ANOVA oder MANOVA robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung sind. Es gilt, dass mindestens fünfzehn Versuchspersonen pro Untersuchungsgruppe, wenn zwei bis neun Gruppen verglichen werden, gegeben sein müssen, damit auch bei einem nicht normalverteilten Datensatz dieser Test herangezogen werden darf (Blanca et al., 2017; Glass et al., 1972; Lix et al., 1996; Schmider et al., 2010).

## 6. Zweite Untersuchung

### 6.2 Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Kontrollvariablen (Fachwissen, kognitive Fähigkeiten, Wissen über die Variablenkontrollstrategie) berichtet. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse zur Qualität der Experimentplanung dargestellt. Darauffolgend wird der Einfluss des Feedbacks auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung ermittelt. Abschließend werden die Ergebnisse zur Bewertung des Feedbacks getrennt nach quantitativen und qualitativen Ergebnissen dargelegt.

#### 6.2.1 Kontrollvariablen

Anhand der Kontrollvariablen Fachwissen, kognitive Fähigkeiten und Wissen über die Variablenkontrollstrategie wird sowohl die Charakterisierung der gesamten Stichprobe vorgenommen als auch die Vergleichbarkeit der drei Untersuchungsgruppen gewährleistet werden. Die statistischen Kennwerte (siehe Tabelle 29) zeigen keine Auffälligkeiten.

Tabelle 29: Deskriptive Statistik der Kontrollvariablen der zweiten Untersuchung

Variable	Statistische Kennwerte					
	Gesamtpunktzahl	Min	Max	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>
Fachwissen	19	0	18	7.34	7	3.38
Kognitive Fähigkeiten	25	2	25	18.25	20	5.80
Variablenkontrollstrategie	13	1	12	4.39	4	2.54

Mithilfe einer univariaten Varianzanalyse wurden die Ausgangsbedingungen der Schüler:innen in den drei Untersuchungsgruppen analysiert. Die Untersuchungsgruppen weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der drei Kontrollvariablen auf und dürfen miteinander verglichen werden (Fachwissen:  $F(3,283) = .39$ ,  $p = .76$ ,  $\eta^2 = .004$ ; Kognitive Fähigkeiten:  $F(3,283) = .93$ ,  $p = .43$ ,  $\eta^2 = .009$ ; Variablenkontrollstrategie:  $F(3,280) = .94$ ,  $p = .42$ ,  $\eta^2 = .009$ ).

#### 6.2.2 Qualität der Experimentplanung

Die Qualität der mithilfe des simulierten Feedbacks neu geschriebenen Experimentplanung wird mithilfe der erreichten Punkte und der erreichten Qualitätsstufe (siehe Kapitel 5.1.5) ermittelt. Für die Berechnung der erreichten Punkte werden die Merkmale 1 bis 8 einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie herangezogen. Somit sind hier maximal 16 Punkte zu erreichen. Zudem kann die Experimentplanung eine Qualität zwischen den Stufen 1 bis 5 annehmen. Zunächst

werden diese Kennwerte deskriptiv betrachtet. Im Anschluss daran wird mittels univariater Varianzanalyse berechnet, welche der Untersuchungsgruppen mit Hilfe des Feedbacks die qualitativ besten Experimentplanungen schreiben.

Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte und der Qualitätsstufe der Experimentplanung mit Feedback der zweiten Untersuchung

Variable	Untersuchungsgruppe							
	Vergleichsgruppe		Nur-Text		Nur-Bild		Text-Bild	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Erreichte Punkte mit Feedback	8.04	2.76	11.24	3.84	11.84	2.87	14.36	2.71
Qualitätsstufe mit Feedback	1.42	.99	2.72	1.64	3.00	1.48	4.18	1.43

Der obenstehenden Tabelle ist zu entnehmen, dass bereits deskriptiv Unterschiede im Mittelwert der erreichten Punktzahl in der neu geschriebenen Experimentplanung sowie in der erreichten Qualitätsstufe zu verzeichnen sind. Um dies quantitativ zu prüfen, werden im Folgenden die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen vorgestellt. Der nachstehenden Abbildung 16 ist zu entnehmen, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen der verwendeten Feedbackversion und der erreichten Punktzahl in der neu geschriebenen Experimentplanung gibt ( $F(3,286) = 49,63, p < .001, \eta^2 = .52$ ). Die Ergebnisse des Games-Howell post-hoc Tests (siehe Tabelle 31) zeigen, dass alle Schüler:innen, die nicht mit dem Feedback der Vergleichsgruppe gearbeitet haben, signifikant bessere Experimentplanungen schreiben. Zudem schreiben die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, signifikant bessere Experimentplanungen, als die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text oder Nur-Bild Feedback gearbeitet haben.

## 6. Zweite Untersuchung

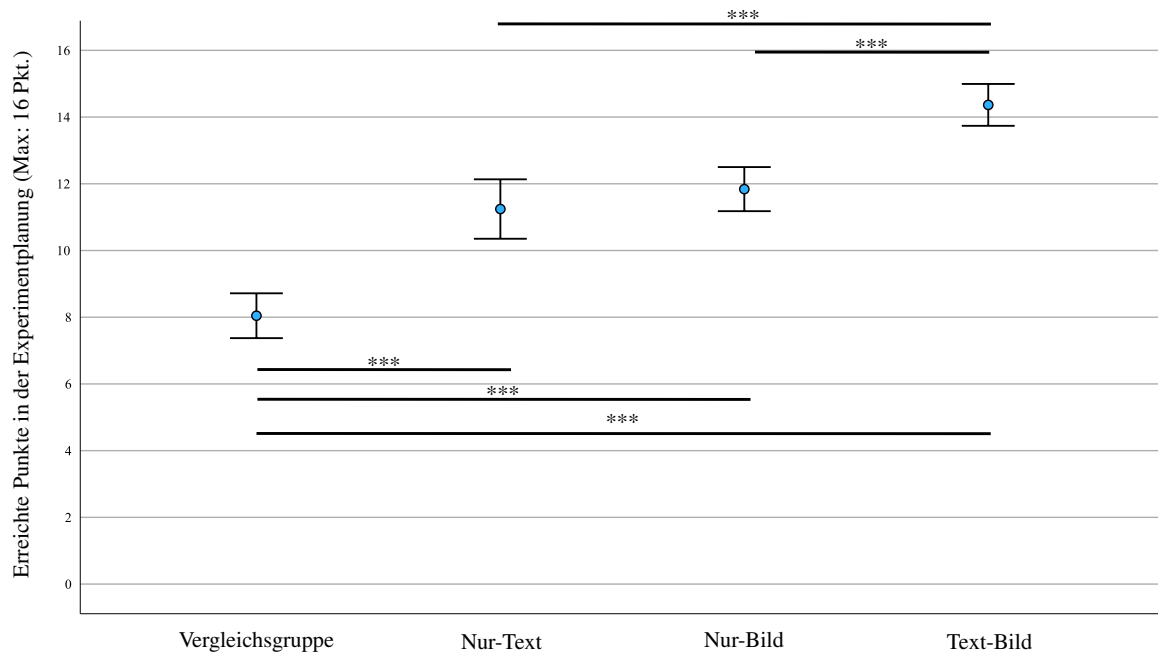


Abbildung 16: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse zur Untersuchung der Qualität der neu geschriebenen Experimentplanungen in Abhängigkeit vom Feedback der zweiten Untersuchung (95% KI)

Tabelle 31: Ergebnisse des Games-Howell post-hoc Tests zur Analyse der Qualität der neu geschriebenen Experimentplanung abhängig vom Feedback gemessen an der erreichten Punktzahl der zweiten Untersuchung

Vergleich	Mittlere Differenz	SD	p	95% KI	
				UG	OG
Nur-Text – Vergleichsgruppe	3.20	.56	< .001	1.74	4.65
Nur-Bild – Vergleichsgruppe	3.80	.47	< .001	2.57	5.02
Text-Bild – Vergleichsgruppe	6.32	.46	< .001	5.12	7.52
Text-Bild – Nur-Text	3.12	.55	< .001	1.70	4.54
Text-Bild – Nur-Bild	2.53	.46	< .001	1.34	3.71

Die Ergebnisse können mittels univariater Varianzanalyse auch für die Qualitätsstufe bestätigt werden, da es einen signifikanten Unterschied zwischen der verwendeten Feedbackversion und der erreichten Qualitätsstufe in der neu geschriebenen Experimentplanung gibt ( $F(3,286) = 45.23, p < .001, \eta^2 = .47$ ). Die Ergebnisse des Tukey-HSD post-hoc Tests zeigen, dass alle Schüler:innen, die mit dem Nur-Text, Nur-Bild oder Text-Bild Feedback gearbeitet haben, signifikant bessere Qualitätsstufen in ihren neu geschriebenen Experimentplanungen erreichen, verglichen mit den Schüler:innen der Vergleichsgruppe (Nur-Text – Vergleichsgruppe:  $M_{\text{Diff}} = 1.3, SD = .24, p < .001, 95\% \text{ KI } [.68, 1.91]$ ; Nur-Bild – Vergleichsgruppe:  $M_{\text{Diff}} = 1.58, SD = .24, p < .001, 95\% \text{ KI } [.97, 2.20]$ ; Text-Bild – Vergleichsgruppe:  $M_{\text{Diff}} = 2.76, SD = .24, p < .001, 95\% \text{ KI } [2.14, 3.37]$ ). Zudem erreichen die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben signifikant bessere Qualitätsstufen in ihren neu geschriebenen

Experimentplanungen als die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text oder Nur-Bild Feedback gearbeitet haben (Text-Bild – Nur-Text:  $M_{\text{Diff}} = 1.46$ ,  $SD = .23$ ,  $p < .001$ , 95% KI [.86, 2.06]; Text-Bild – Nur-Bild:  $M_{\text{Diff}} = 1.18$ ,  $SD = .23$ ,  $p < .001$ , 95% KI [.58, 1.77]).

Weiterführend zeigt das gestapelte Säulendiagramm in Abbildung 17, dass die neu geschriebenen Experimentplanungen der Schüler:innen der Vergleichsgruppe überwiegend mit einer Qualitätsstufe von eins bis drei bewertet wurden. Die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text oder Nur-Bild Feedback gearbeitet haben, schreiben qualitativ bessere Experimentplanungen. Diese werden zwar immer noch häufig mit einer Stufe von eins bis drei bewertet, jedoch steigt auch der Anteil an Experimentplanungen, die mit Qualitätsstufe vier oder fünf bewertet werden. In der Text-Bild Feedbackgruppe fällt auf, dass die Schüler:innen überwiegend Experimentplanungen verfassen, die einer Qualitätsstufe von vier oder fünf genügen.

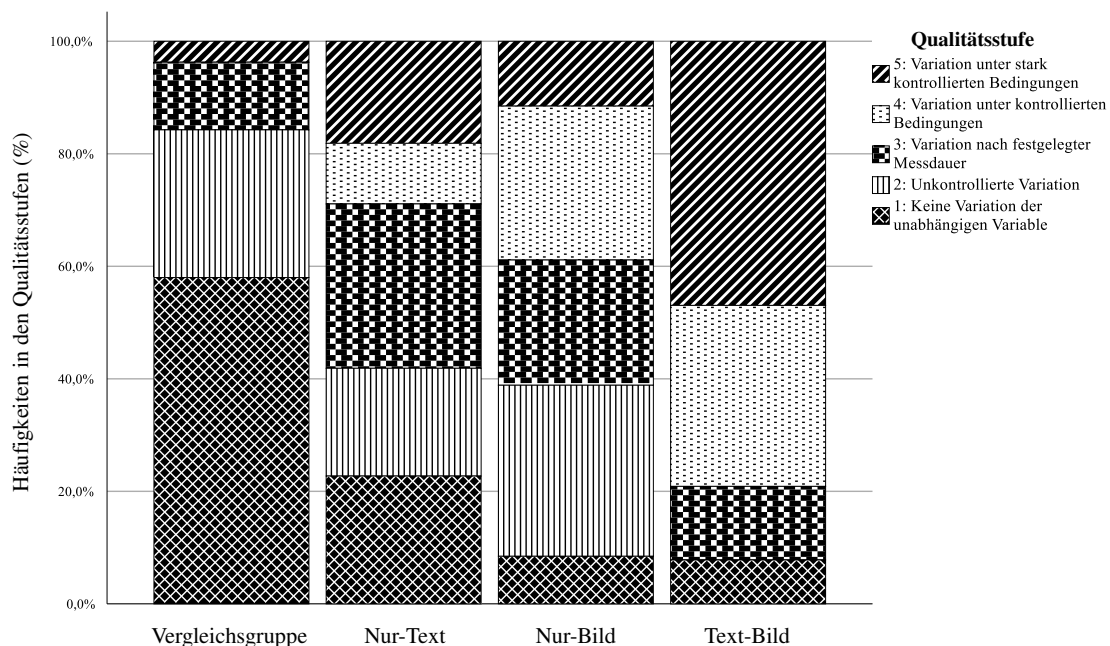


Abbildung 17: Gestapeltes Säulendiagramm der erreichten Qualitätsstufen in der neu geschriebenen Experimentplanung in Abhängigkeit vom Feedback der zweiten Untersuchung

Des Weiteren wurde eine multiple lineare Regression (siehe Abbildung 18) herangezogen, um zu überprüfen, ob das Fachwissen, die kognitiven Fähigkeiten und das Wissen über die Variablenkontrollstrategie Prädiktoren für die Qualität der Experimentplanung sind. Das Fachwissen und die kognitiven Fähigkeiten stellen sich als signifikante Prädiktoren heraus, um die Qualität der Experimentplanung hervorzusagen ( $F(3, 280) = 13.47$ ,  $p < .001$ ). Das Wissen über die Variablenkontrollstrategie ist kein signifikanter Prädiktor. Das Modell hat mit einem  $R^2 = .12$  eine moderate Anpassungsgüte (Cohen, 1988b).

## 6. Zweite Untersuchung

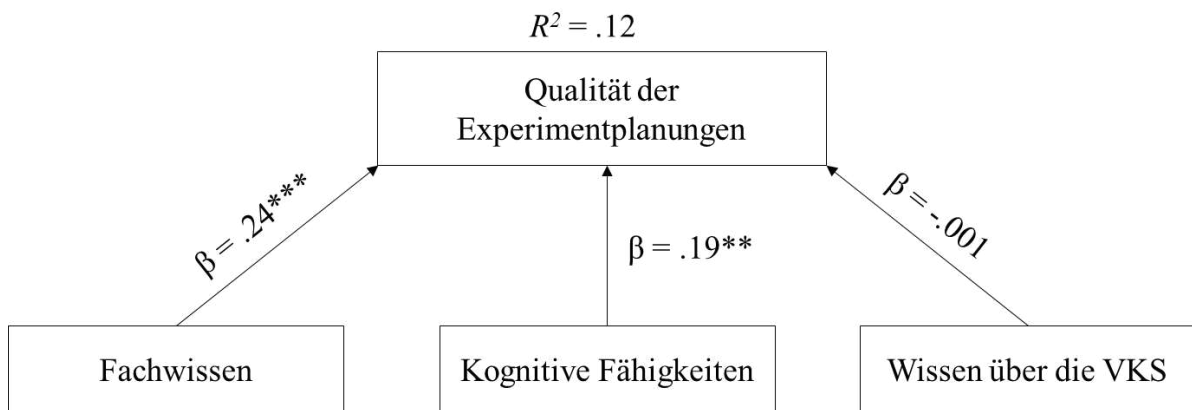


Abbildung 18: Multiple lineare Regression zum Einfluss von Fachwissen, kognitiven Fähigkeiten und Wissen über die Variablenkontrollstrategie auf die Qualität der Experimentplanung der zweiten Untersuchung

### 6.2.3 Einfluss des Feedbacks auf Cognitive Load, Motivation und wahrgenommene Kompetenzunterstützung

#### Cognitive Load

Der Cognitive Load wird anhand von Items zur wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und zur wahrgenommenen Denkanstrengung gemessen. Tabelle 32 ist zu entnehmen, dass die Schüler:innen, die mit dem Feedback der Vergleichsgruppe gearbeitet haben den höchsten Cognitive Load wahrnehmen, da sie sowohl die Aufgaben als schwierig als auch die Denkanstrengung als hoch einschätzen. Die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, nehmen deskriptiv den geringsten Cognitive Load wahr.

Tabelle 32: Darstellung der Mittelwerte der Variablen zum Cognitive Load der zweiten Untersuchung

Variable	Untersuchungsgruppe							
	Vergleichsgruppe		Nur-Text		Nur-Bild		Text-Bild	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Aufgabenschwierigkeit	2.58	.74	2.22	.85	2.05	.93	2.04	.73
Denkanstrengung	2.58	.94	2.36	.89	1.89	.98	1.86	.83

#### Motivation

Da die drei Facetten des Fach- und Sachinteresses sowie der intrinsischen Motivation im Rahmen einer Faktorenanalyse anhand der vorliegenden Daten nicht trennbar sind, wird im Folgenden mit dem Mittelwert gearbeitet. Tabelle 33 ist zu entnehmen, dass die Motivation der Schüler:innen, bei der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback



deskriptiv am höchsten ist. Die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text Feedback gearbeitet haben, sind am geringsten motiviert.

Tabelle 33: Darstellung der Mittelwerte der Variable Motivation getrennt nach den Untersuchungsgruppen der zweiten Untersuchung

Variable	Untersuchungsgruppe							
	Vergleichsgruppe		Nur-Text		Nur-Bild		Text-Bild	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Motivation	1.24	.50	1.20	.54	1.22	.51	1.30	.47

### Wahrgenommene Kompetenzunterstützung

Die Schüler:innen nehmen die unterschiedlichen Feedbackversionen als besonders unterstützend wahr, weil sie erfahren, was sie noch verbessern können. Außerdem nehmen die Schüler:innen das Nur-Bild Feedback weitergehend als besonders unterstützend wahr, da dieses dabei hilft den Stoff, der im Experiment behandelt wurde, besser zu verstehen. Die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text, Nur-Bild oder Text-Bild Feedback gearbeitet haben nehmen diese als unterstützend wahr, weil sie das Gefühl haben, dass sie das neu gelernte Wissen beim nächsten Planen eines Experiments umsetzen können.

## 6. Zweite Untersuchung

Tabelle 34: Mittelwerte der Items zur wahrgenommenen Unterstützung durch Feedback (Bürgermeister et al., 2011)

Item	Untersuchungsgruppe							
	Vergleichsgruppe		Nur-Text		Nur-Bild		Text-Bild	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Durch das Feedback habe ich erfahren, ob ich Fortschritte gemacht habe.	1.39	.95	1.55	.90	1.51	.96	1.41	.95
Durch das Feedback habe ich erfahren, was ich noch verbessern könnte.	2.03	.83	2.01	.93	1.89	1.03	1.96	.93
Durch das Feedback fühle ich mich darin unterstützt, den Stoff, der im Experiment behandelt wurde, besser zu verstehen.	1.40	.98	1.56	.93	1.68	.94	1.61	.86
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass mir auch schwierige Aufgaben zugetraut werden.	1.13	.90	1.26	.83	1.32	.98	1.36	.93
Durch das Feedback fühle ich mich für gute Leistungen gelobt.	1.32	1.01	1.30	.88	1.32	.93	1.47	.98
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass ich mein Wissen beim nächsten Mal umsetzen kann.	1.42	.92	1.61	.93	1.61	.97	1.60	.74

Die Schüler:innen der Untersuchungsgruppe des Text-Bild Feedbacks nehmen deskriptiv die höchste Unterstützung durch das Feedback wahr ( $M = 1.56$ ,  $SD = 0.64$ ), gefolgt von den Schüler:innen der Untersuchungsgruppe des Nur-Bild Feedbacks ( $M = 1.54$ ,  $SD = 0.72$ ), Nur-Text Feedbacks ( $M = 1.53$ ,  $SD = 0.67$ ) und abschließend des Feedbacks der Vergleichsgruppe ( $M = 1.45$ ,  $SD = 0.67$ ).

### MANOVA

Für die Überprüfung von Forschungsfrage 2a wurde eine multivariate Varianzanalyse herangezogen, um den Einfluss des Feedbacks auf Cognitive Load (Aufgabenschwierigkeit und Denkanstrengung), Motivation und wahrgenommene Kompetenzunterstützung zu überprüfen. Es gibt einen signifikanten Haupteffekt zwischen der eingesetzten Feedbackversion und dem Cognitive Load, der Motivation und der wahrgenommenen Kompetenzunterstützung der Schüler:innen ( $F(12, 749) = 3.31$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .05$ , Wilk's  $\Lambda = .87$ ). Post-hoc wurden univariate Varianzanalysen für jede

Variable berechnet. Es gibt einen signifikanten Unterschied im Cognitive Load der Schüler:innen zwischen den Feedbackversionen (Aufgabenschwierigkeit:  $F(3,286) = 6.59$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .07$ ; Denkanstrengung:  $F(3,286) = 10.77$ ,  $p < .001$ , partielles  $\eta^2 = .10$ ). Die Arbeit mit dem Nur-Bild und Text-Bild Feedback führt zu einem statistisch signifikant niedrigeren Cognitive Load im Vergleich zu den anderen zwei Feedbackversionen. Es gibt jedoch keinen signifikanten Unterschied in der Motivation und der wahrgenommenen Kompetenzunterstützung der Schüler:innen zwischen den Feedbackversionen (Motivation:  $F(3, 286) = 0.51$ ,  $p = .68$ , partielles  $\eta^2 = .01$ ; Kompetenzunterstützung:  $F(3, 286) = 0.42$ ,  $p = .74$ , partielles  $\eta^2 = .004$ ).

Tabelle 35: Ergebnisse des Tukey-HSD post-hoc Test der zweiten Untersuchung

Vergleich	Mittlere Differenz	SD	p	95% KI	
				UG	OG
Aufgabenschwierigkeit					
Vergleichsgruppe – Nur-Text	.37	.14	.042	.01	.72
Vergleichsgruppe – Nur-Bild	.53	.14	< .001	.17	.88
Vergleichsgruppe – Text-Bild	.54	.14	< .001	.18	.90
Denkanstrengung					
Vergleichsgruppe – Nur-Bild	.69	.15	< .001	.29	1.08
Vergleichsgruppe – Text-Bild	.72	.15	< .001	.32	1.11
Nur-Text – Nur-Bild	.47	.15	.009	.09	.86
Nur-Text – Text-Bild	.50	.15	.005	.11	.89

#### 6.2.4 Mediationsanalysen

Um Forschungsfrage 2b zu beantworten, werden getrennt für die drei Schüler:innenmerkmale (Cognitive Load, Motivation, wahrgenommene Kompetenzunterstützung) Mediationsanalysen durchgeführt. Nachstehend werden die Ergebnisse berichtet.

Zur Analyse der vermittelnden Funktion der drei Schüler:innenmerkmale auf die Qualität der feedbackgestützt neu geschriebenen Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie wird die Bootstrapping-Methode herangezogen. Das jeweilige Schüler:innenmerkmal ist in diesem Modell der Mediator (M).

Die Qualität der neu geschriebenen Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie wird anhand der Summenscores operationalisiert und ist in diesem Modell die abhängige Variable (Y). Die Feedbackversion ist die unabhängige Variable (X). Da für das Feedback vier unterschiedliche Versionen vorliegen, muss eine Dummy-Kodierung vorgenommen werden. Hierbei bildet die Vergleichsgruppe die Referenzgruppe, da aufgrund der gestalterischen und inhaltlichen Entwicklung des

## 6. Zweite Untersuchung

Feedbacks die geringste Qualität der neu geschriebenen Experimentplanung zu erwarten ist.

D1: Nur-Text = 1, Nur-Bild = 0, Text-Bild = 0, Vergleichsgruppe = 0

D2: Nur-Text = 0, Nur-Bild = 1, Text-Bild = 0, Vergleichsgruppe = 0

D3: Nur-Text = 0, Nur-Bild = 0, Text-Bild = 1, Vergleichsgruppe = 0

### Cognitive Load – investierte Denkanstrengung

Die Ergebnisse der Pfadanalyse zeigen, dass die Arbeit mit dem Nur-Bild und Text-Bild Feedback zu einer signifikant niedrigeren investierten Denkanstrengung im Vergleich mit dem Feedback der Vergleichsgruppe führt ( $a_2 = -.68$ ,  $p < .001$ ;  $a_3 = -.73$ ,  $p < .001$ ). Die investierte Denkanstrengung der Schüler:innen, die mit dem Nur-Text Feedback gearbeitet haben, unterscheidet sich nicht signifikant von der der Vergleichsgruppe ( $a_1 = -.22$ ,  $p = .13$ ). Außerdem liegt ein signifikanter direkter Effekt von investierter Denkanstrengung auf die Qualität der Experimentplanung vor ( $b = -.86$ ,  $p < .001$ ). Je geringer die investierte Denkanstrengung bei der Arbeit mit dem Feedback ist, desto höher ist die Qualität der Experimentplanung. Das Bootstrapping ergibt, dass der Effekt des Feedbacks in der Nur-Bild und Text-Bild Gruppe aber nicht in der Nur-Text Gruppe im Vergleich zum Feedback der Vergleichsgruppe auf die Qualität der Experimentplanung partiell über die investierte Denkanstrengung vermittelt wird (D<sub>1</sub>:  $a_1b = .19$ ,  $p = .17$ , 95% KI [-.06, .48]; D<sub>2</sub>:  $a_2b = .58$ ,  $p = .002$ , 95% KI [.24, 1.02]; D<sub>3</sub>:  $a_3b = .63$ ,  $p = .001$ , 95% KI [.31, 1.00]).

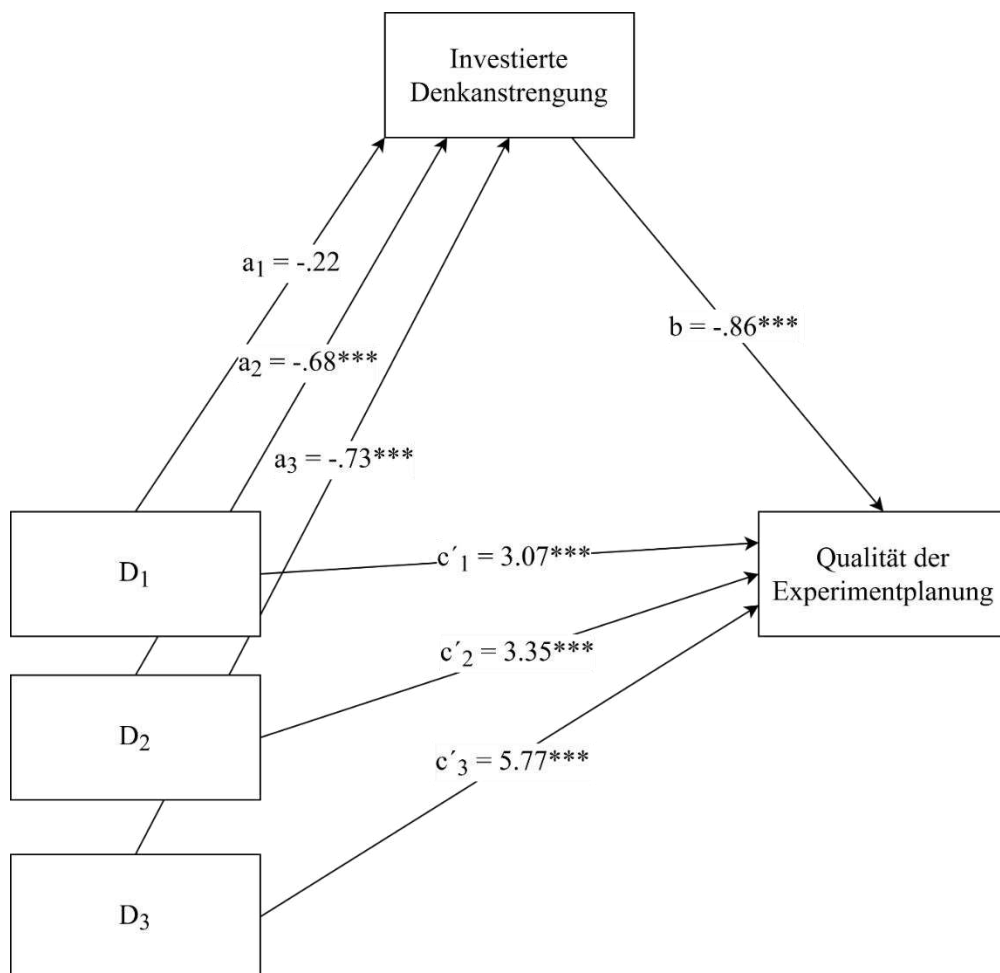


Abbildung 19: Mediatormodell für die investierte Denkanstrengung der zweiten Untersuchung

**Cognitive Load – wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit**

Für die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit zeigt sich ein ähnliches Ergebnis. Die Ergebnisse der Pfadanalyse zeigen, dass die Arbeit mit dem Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Feedback zu einer niedrigeren wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit im Vergleich mit dem Feedback der Vergleichsgruppe führt ( $a_1 = -.37, p = .009$ ;  $a_2 = -.53, p < .001$ ;  $a_3 = -.54, p < .001$ ). Außerdem liegt ein signifikanter direkter Effekt von wahrgenommener Aufgabenschwierigkeit auf die Qualität der Experimentplanung vor ( $b = -.52, p = .02$ ). Je geringer die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit bei der Arbeit mit dem Feedback ist, desto höher ist die Qualität der Experimentplanung. Das Bootstrapping ergibt, dass der Effekt des Feedbacks in der Nur-Bild und Text-Bild Gruppe aber nicht in der Nur-Text Gruppe im Vergleich zum Feedback der Vergleichsgruppe auf die Qualität der Experimentplanung partiell über die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit vermittelt wird ( $D_1: a_1b = .19, p = .09, 95\% \text{ KI } [.01, .44]$ ;  $D_2: a_2b = .27, p = .05, 95\% \text{ KI } [.02, .59]$ ;  $D_3: a_3b = .28, p = .05, 95\% \text{ KI } [.03, .58]$ ).

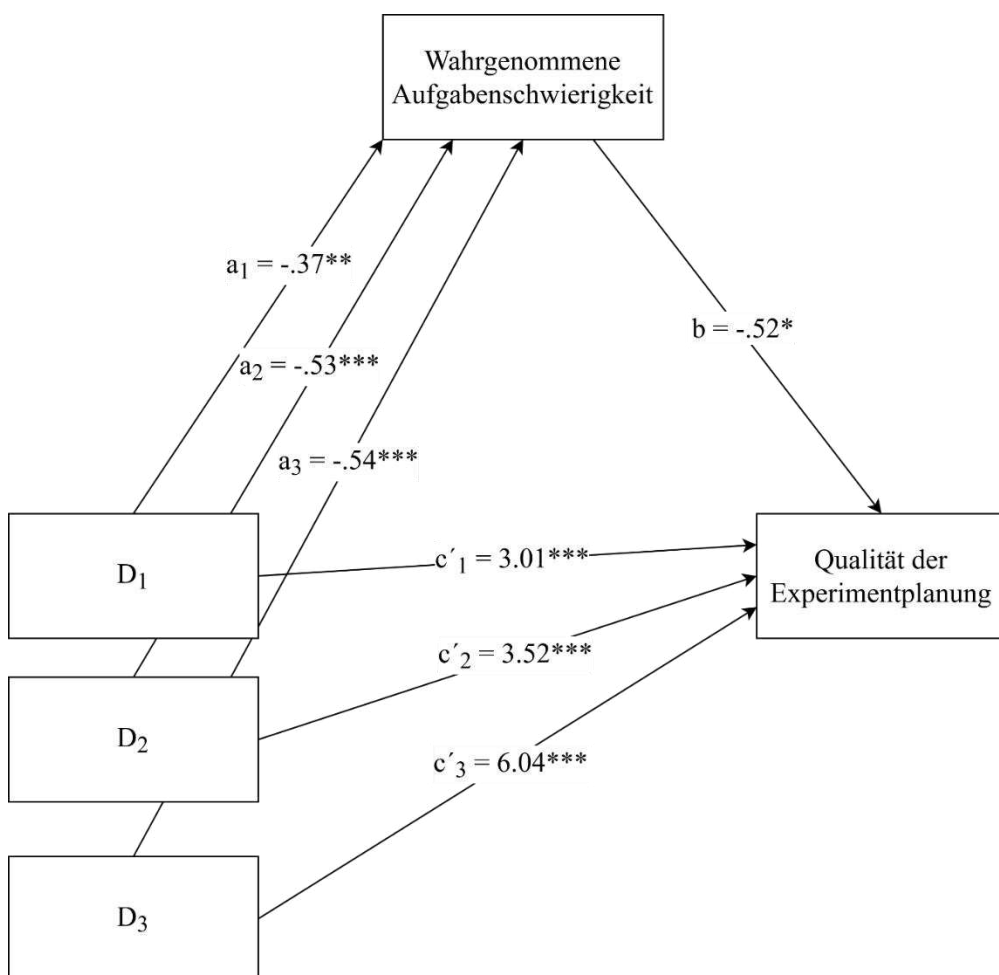


Abbildung 20: Mediatormodell für die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit der zweiten Untersuchung

### Motivation

Die Ergebnisse der Pfadanalyse zeigen, dass die Arbeit mit den drei Feedbackversionen nicht zu einer unterschiedlichen Motivation im Vergleich mit dem Feedback der Vergleichsgruppe führt ( $a_1 = -.04$ ,  $p = .96$ ;  $a_2 = .18$ ,  $p = .85$ ;  $a_3 = 1.04$ ,  $p = .27$ ). Bei Betrachtung der Mittelwerte zeigt sich lediglich die Tendenz, dass die Schüler:innen das Text-Bild Feedback als motivierender wahrnehmen als die Schüler:innen der Nur-Text, Nur-Bild und Vergleichsgruppe. Es liegt jedoch ein signifikanter direkter Effekt von Motivation auf die Qualität der Experimentplanung vor ( $b = .09$ ,  $p = .009$ ). Je motivierender die Arbeit mit dem Feedback wahrgenommen wird, desto höher ist die Qualität der Experimentplanung. Das Bootstrapping ergibt keine hinreichende Evidenz, dass der Effekt des Feedbacks in der Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Gruppe im Vergleich zum Feedback der Vergleichsgruppe auf die Qualität der Experimentplanung über die Motivation vermittelt wird ( $D_1$ :  $a_1b = .004$ ,  $p = .97$ , 95% KI [-.18, .17];  $D_2$ :  $a_2b = .02$ ,  $p = .86$ , 95% KI [-.17, .18];  $D_3$ :  $a_3b = .09$ ,  $p = .34$ , 95% KI [.06, .28]).

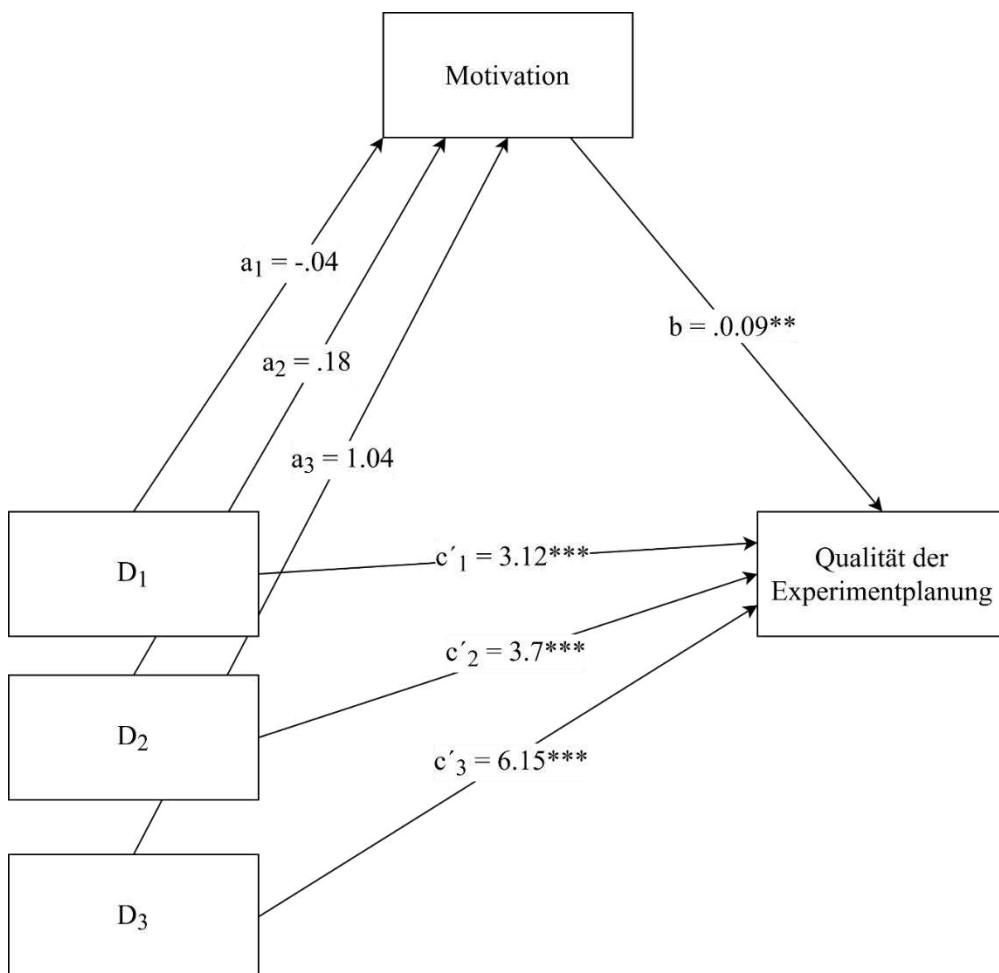


Abbildung 21: Mediatormodell für die Motivation der zweiten Untersuchung

### Wahrgenommene Kompetenzunterstützung

Die Ergebnisse der Pfadanalyse zeigen, dass die drei Feedbackversionen im Vergleich mit dem Feedback der Vergleichsgruppe nicht unterschiedlich unterstützend wahrgenommen wurden ( $a_1 = .52, p = .45$ ;  $a_2 = .57, p = .41$ ;  $a_3 = .67, p = .33$ ). Bei Betrachtung der Mittelwerte zeigt sich lediglich die Tendenz, dass die Schüler:innen das Text-Bild Feedback unterstützender wahrnehmen als die Schüler:innen der Nur-Text, Nur-Bild und Vergleichsgruppe. Es liegt jedoch ein signifikanter direkter Effekt von wahrgenommener Kompetenzunterstützung auf die Qualität der Experimentplanung vor ( $b = .21, p < .001$ ). Je höher die wahrgenommene Kompetenzunterstützung durch das Feedback ist, desto höher ist die Qualität der Experimentplanung. Das Bootstrapping ergibt keine hinreichende Evidenz, dass der Effekt des Feedbacks in der Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Gruppe im Vergleich zum Feedback der Vergleichsgruppe auf die Qualität der Experimentplanung über die wahrgenommene Kompetenzunterstützung vermittelt wird ( $D_1: a_1b = .12, p = .47, 95\% \text{ KI } [-.16, .40]$ ;  $D_2: a_2b = .12, p = .42, 95\% \text{ KI } [.16, .46]$ ;  $D_3: a_3b = .14, p = .35, 95\% \text{ KI } [.13, .45]$ ).

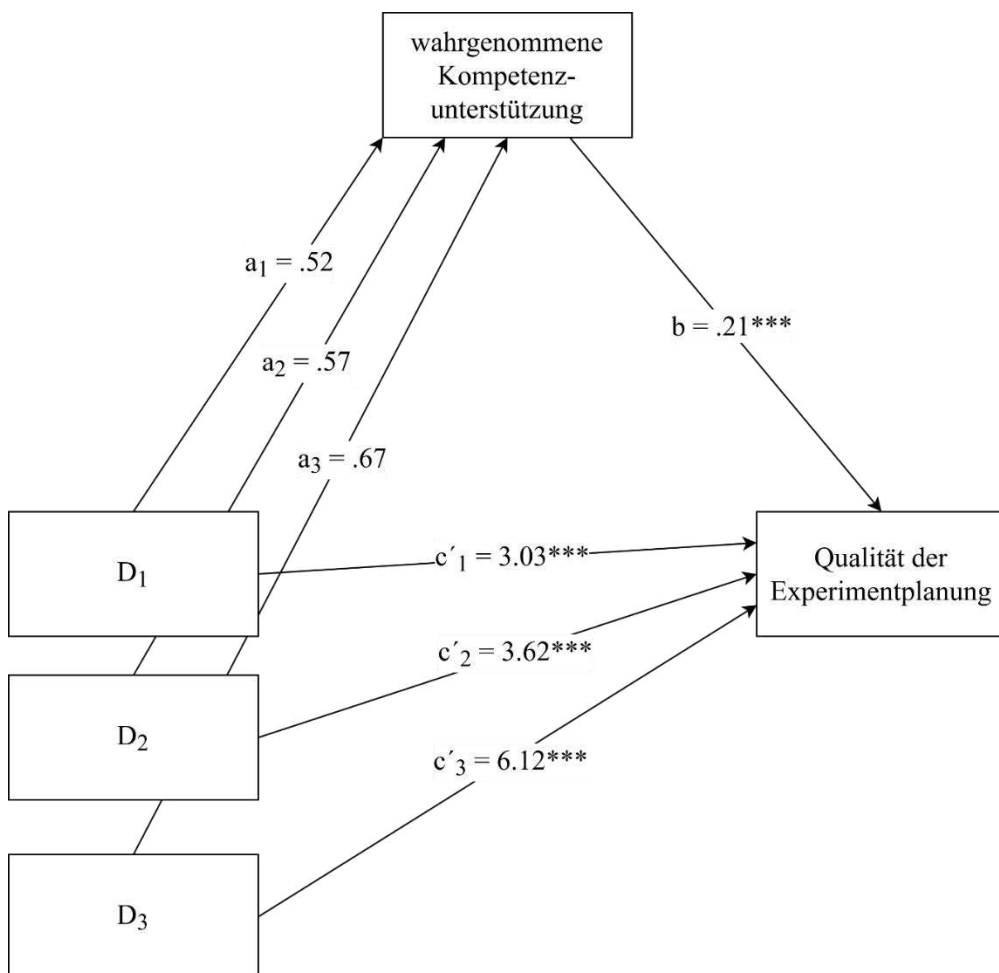


Abbildung 22: Mediatormodell für die wahrgenommene Unterstützung der zweiten Untersuchung



### 6.2.5 Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale

Die geschlossenen Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale wurden im Rahmen der ersten Untersuchung entwickelt, evaluiert und anschließend erneut in der zweiten Untersuchung eingesetzt. Zunächst wird mittels univariater Varianzanalyse ermittelt, ob Unterschiede in der Bewertung der Unterstützung des Feedbacks zwischen den vier Untersuchungsgruppen vorliegen. Anschließend werden die Items dieses Testinstruments weitergehend mittels Schwierigkeitsindizes analysiert. Basierend auf dem Mittelwert pro Feedbackversion ist zu erkennen, dass das Text-Bild Feedback am unterstützendsten bewertet wird ( $M = 1.7$ ,  $SD = .53$ ) gefolgt vom Nur-Bild ( $M = 1.6$ ,  $SD = .57$ ), Nur-Text ( $M = 1.5$ ,  $SD = .64$ ) und dem Feedback der Vergleichsgruppe ( $M = 1.4$ ,  $SD = .51$ ). Die Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse bestätigen, dass sich die vier Untersuchungsgruppen in der Bewertung der Unterstützung des Feedbacks signifikant voneinander unterscheiden ( $F(3,284) = 3.51$ ,  $p = .02$ ,  $\eta^2 = .04$ ). Es ist von einem mittleren Effekt zu sprechen. Die Ergebnisse des Tukey-HSD post-hoc Tests zeigen, dass die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, die Unterstützung dieses Feedbacks signifikant höher einschätzen, verglichen mit den Schüler:innen, die mit dem Feedback der Vergleichsgruppe gearbeitet haben ( $M_{\text{Diff}} = .31$ ,  $SD = .10$ ,  $p = .01$ , 95% KI [.06, .56]). Aufgrund dieser Ergebnisse wurde darauf verzichtet, das Testinstrument mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse in Anlehnung an die in der ersten Untersuchung extrahierten zwei Faktoren weitergehend zu untersuchen. Stattdessen wurden die Items des Instruments zur Bewertung der Unterstützung des Feedbacks beim Lernen mit Schwierigkeitsindizes weiterführend analysiert. Basierend auf dem Schwierigkeitsindex kann ein Eindruck über die durchschnittliche Zustimmung gewonnen werden. Diese gibt an, wie leicht oder schwer Schüler:innen die Zustimmung fällt, dass das aufgeführte Merkmal des Feedbacks als unterstützend gilt.

## 6. Zweite Untersuchung

Tabelle 36: Schwierigkeitsindizes der Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale getrennt nach den vier Untersuchungsgruppen der zweiten Untersuchung

Item	Schwierigkeitsindex [%] pro Untersuchungsgruppe			
	Vergleichsgruppe	Nur-Text	Nur-Bild	Text-Bild
BF1 (Lernziel)	44.00	50.00	49.00	47.00
BF2 (Weg zum Lernziel)	51.00	57.00	55.00	53.00
BF4 (Nächste Schritte)	61.00	66.00	63.00	69.00
BF5 (Lernstand)	50.00	58.00	58.00	66.00
BF6 (Umfang)	40.00	43.00	55.00	46.00
BF7 (Bestärkung)	34.00	42.00	42.00	44.00
BF8 (Fehlerorientierung)	62.00	59.00	61.00	68.00
BF9 (Schriftlich)	50.00	49.00	46.00	60.00
BF10 (Personalisierung)	35.00	47.00	44.00	50.00
BF11 (Aufgabenbezug)	51.00	55.00	60.00	61.00
BF12 (Verständlichkeit)	48.00	50.00	56.00	63.00
BF13 (Beispielorientierung)	40.00	60.00	61.00	67.00

Basierend auf den Schwierigkeitsindizes ist zu erkennen, dass alle Feedbackversionen als unterstützend bewertet werden, weil genannt wird, was bei der Planung des Experiments falsch gemacht wurde (BF8) bzw. was bei der nächsten Experimentplanung noch zu beachten ist (BF4). Werden die Schwierigkeitsindizes für das Nur-Text, das Nur-Bild und das Text-Bild Feedback miteinander verglichen, ist zu erkennen, dass diese Feedbacks als besonders unterstützend bewertet werden, weil zusätzlich der Lernstand aufgeführt wird (BF5). Die noch zu verbessernden Merkmale eines guten Experiments werden mithilfe von Beispielen (BF13) ausführlich dargelegt und somit auch ein starker Aufgabenbezug (BF11) hergestellt. Diese Merkmale führen dazu, dass die Schüler:innen genau wissen, wie die Lernziele zu erreichen sind (BF2) und das Feedback als unterstützend bewertet wird. Das Text-Bild Feedback hebt sich in seiner Unterstützung durch eine besonders hohe sprachliche Verständlichkeit ab (BF12).

### 6.2.6 Qualitative Ergebnisse

Mithilfe der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse und induktiver Kategoriebildung aus dem Material (siehe Kapitel 6.1.6) wurden die Antworten der Schüler:innen bezüglich bereits gelungenen und noch verbesserungswürdigen Charakteristika des Feedbacks getrennt nach den Untersuchungsgruppen ausgewertet. Es ist zu erkennen, dass die Schüler:innen mit der äußeren und inneren Gestaltung des Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Feedbacks bereits sehr zufrieden sind. Die Schüler:innen der Vergleichsgruppe melden zurück, dass dieses Feedback besonders aufgrund der

übersichtlichen Gestaltung und des geringen Umfangs überzeugt. Bei dem Nur-Text Feedback fällt besonders die sprachliche Verständlichkeit positiv auf. Wird die Kategorie des Feedbackformats betrachtet, fällt auf, dass das Vorhandensein von Bildern im Nur-Bild und Text-Bild Feedback als besonders positiv angesehen wird. Bei dem Text-Bild Feedback werden zusätzlich die Texte als Erklärungen zu den Bildern als positive Charakteristik benannt. Hinsichtlich des Feedbackinhalts fällt für das Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Feedback auf, dass dieser ebenfalls sehr zufriedenstellend ist. Besonders beim Nur-Text Feedback wird angemerkt, dass das Aufführen von Lernziel, Lernstand und nächsten Schritten eine gute Unterstützung darstellt.

Tabelle 37: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die bereits gut gelungenen Charakteristika des Feedbacks pro Untersuchungsgruppe der zweiten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung	UG1	UG2	UG3	UG4	
Gestaltung	Äußere Gestaltung	Übersichtlich	7	2	1	3	
		Strukturierung	2	3	1	2	
		Umfang	7	6	7	4	
	Innere Gestaltung	Ausführliche Aussagen	0	2	4	3	
		Aufgabenbezug	1	2	1	1	
		Beispiele	0	4	3	1	
		Direkte Ansprache	1	3	0	0	
	Feedbackformat	Sprachliche Verständlichkeit	2	11	7	6	
		Text	4	3	1	1	
		Bilder	0	0	23	16	
	Inhalt	Feedbackinfos	Text als Erklärungen zu den Bildern	0	0	0	14
			Lernziel	1	8	4	3
			Lernstand	2	14	5	3
Affektiver Einfluss		Nächste Schritte	7	19	7	7	
		Positive Bestärkung	0	3	0	1	
		Lernerfolg spürbar	3	6	6	1	
		Lernunterstützung gegeben	1	2	3	4	
Fehlerorientierung	3	4	4	6			
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Unpassende Antwort	6	2	6	5	
		Keine Antwort	32	22	25	29	

Anmerkung: UG1 = Vergleichsgruppe, UG2 = Nur-Text, UG3 = Nur-Bild, UG4 = Text-Bild

## 6. Zweite Untersuchung

Vor allem für das Feedback der Vergleichsgruppe sowie das Nur-Text und Nur-Bild Feedback gibt es Verbesserungsvorschläge. Das Feedback der Vergleichsgruppe könnte durch ausführlichere Aussagen, mehr Beispiele und einer besseren sprachlichen Verständlichkeit unterstützender umgesetzt werden. Die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text Feedback gearbeitet haben, melden zurück, dass sie sich Bilder wünschen würden, welche den Experimentierprozess verdeutlichen. Die Schüler:innen, die mit dem Nur-Bild Feedback gearbeitet haben, würden sich Texte als Erklärungen zu den Bildern wünschen. Hinsichtlich der inhaltlichen Ausarbeitung des Feedbacks gibt es kaum Rückmeldungen zur Verbesserung.

Tabelle 38: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die noch verbesserungswürdigen Charakteristika des Feedbacks pro Untersuchungsgruppe der zweiten Untersuchung

Hauptkategorie	Subkategorie	Ausprägung	UG1	UG2	UG3	UG4	
Gestaltung	Äußere Gestaltung	Einfacher strukturieren	0	2	1	0	
		Umfang zu hoch	0	4	2	1	
		Umfang zu gering	3	3	0	0	
	Innere Gestaltung	Ausführlichere Aussagen	12	6	6	1	
		Aufgabenbezug	0	4	1	0	
		Beispiele	13	5	2	0	
		Sprachliche Verständlichkeit	13	9	1	2	
	Feedbackformat	Text	1	0	0	0	
		Bilder	6	12	0	0	
		Text als Erklärungen zu den Bildern	0	1	19	0	
	Inhalt	Feedbackinfos	Lernziel	0	0	0	0
			Lernstand	0	0	0	1
Nächste Schritte			3	1	1	1	
Affektiver Einfluss		Positive Bestärkung	0	1	1	1	
		Fehlerorientierung	3	0	2	0	
Nicht aufgabenbezogene Antworten	Nicht aufgabenbezogene Antworten	Unpassende Antwort	4	8	7	16	
		Keine Antwort	28	31	33	51	

Anmerkung: UG1 = Vergleichsgruppe, UG2 = Nur-Text, UG3 = Nur-Bild, UG4 = Text-Bild

Abschließend wurde als inhaltsanalytisches Gütekriterium die Intercoderreliabilität mit dem Maß Kappa gemäß Formel 2 aus Kapitel 5.1.7 berechnet, welche mit

$\kappa_{\text{Gelungen}} = .74$  und  $\kappa_{\text{Verbesserungsvorschläge}} = .70$  als gute Übereinstimmungen charakterisiert werden können.

### 6.3 Diskussion

Die Diskussion der Ergebnisse der zweiten Untersuchung wird in Bezug auf Forschungsfrage 2 vorgenommen. Abschließend werden Schlussfolgerungen hinsichtlich Forschungsfrage 2 und den dazugehörigen Hypothesen gezogen sowie das daraus resultierende weitere Vorgehen erläutert.

#### Quantitative Ergebnisse

Forschungsfrage 2a bezieht sich auf das Analysieren des Einflusses verschiedener Feedbackversionen auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie:

**Forschungsfrage 2a:** Welchen Einfluss hat Feedback, das Informationen nur über Text, nur über Bild oder über eine Kombination aus Text und Bild rückmeldet, auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie?

**Hypothese 2a:** Feedback, das Informationen über eine Kombination aus Text und Bild rückmeldet, reduziert den Cognitive Load am stärksten, steigert die Motivation am meisten und leistet die höchste Kompetenzunterstützung im Vergleich zu Feedback, das Informationen nur über Text oder nur über Bild präsentiert (Mayer, 2001, 2009, 2012; Moreno, 2006; Schnotz, 2005, 2014; Schnotz & Bannert, 2003; Sweller et al., 1998).

Die Diskussion der quantitativen Ergebnisse wird getrennt nach dem Inhalt des Feedbacks und der konkreten Gestaltung der einzelnen Feedbackversionen vorgenommen. Diese Aspekte werden auf die untersuchten kognitiven und affektiven Schüler:innenmerkmale bezogen und als Erklärungsansätze für die Befunde der Varianz- und Mediationsanalysen genutzt. Zunächst ist zu sagen, dass der Inhalt aller vier Feedbackversionen in die Lernziele, den Lernstand und die nächsten zu gehenden Schritte gegliedert ist. Die Lernziele stellen die zu berücksichtigenden Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie dar. Im Lernstand wird den Schüler:innen mitgeteilt, welche Merkmale der Variablenkontrollstrategie bereits in der vorgefertigten Planung berücksichtigt wurden. Welche Merkmale beim Neuschreiben der Experimentplanung noch eingeplant werden müssen, wird im Rahmen der

## 6. Zweite Untersuchung

nächsten Schritte rückgemeldet. Dieser Inhalt wurde in allen vier Feedbackversionen aufgeführt und war gleichermaßen sachlich formuliert. Dies konnte durch das Szenario basierte Untersuchungsdesign sichergestellt werden. Das Rückmelden von Informationen zu den drei beschriebenen Bereichen haben schon Hattie und Timperley (2007) vorgeschlagen. Dieses Vorgehen hat sich zudem in der Untersuchung von Scheuermann (2017) als lerneffektivste Version von Feedback herausgestellt. In dieser Studie wurde zwischen Rückmeldungen, a) die Informationen zum Lernziel, dem Lernstand und den nächsten Schritten, b) die Informationen zum Lernziel und zum Lernstand sowie c) Selbsteinschätzungen differenziert. Auch in der Untersuchung von Wollenschläger et al. (2012) stellte sich die Rückmeldung, die Informationen zu allen drei Feedbackfragen liefert, als die effektivere Version heraus im Vergleich zur Selbsteinschätzung und im Vergleich zum Erhalten keines Feedbacks (Wollenschläger et al., 2011). Werden die in der zweiten Untersuchung des vorliegenden Projektes eingesetzten Feedbackversionen erneut betrachtet, fällt auf, dass der Inhalt des Nur-Text, Nur-Bild sowie Text-Bild Feedbacks sich aufgrund des gewählten Untersuchungsdesigns nicht unterscheidet. Viel mehr steht die gestalterische Aufbereitung des Rückmeldens dieser Informationen als variiertes Merkmal im Vordergrund der Untersuchung. Der Feedbackbogen der Vergleichsgruppe unterscheidet sich stark von den anderen drei Feedbackversionen. Zwar werden identische Informationen zum Lernziel, dem Lernstand und den nächsten Schritten gegeben, jedoch wird diese Feedbackversion nicht als elaboriertes Feedback verstanden und verzichtet auf das stärkere Ausführen der rückgemeldeten Informationen. Die Gestaltung der Feedbackversionen wird im Folgenden Abschnitt stärker ausgeführt und diskutiert.

Die Gestaltung des Nur-Text, Nur-Bild sowie Text-Bild Feedbacks steht als Variation der unabhängigen Variable stark im Vordergrund. Im Nur-Text Feedback werden alle Informationen des Feedbacks als Text präsentiert. Die Informationen zum Lernstand sind mit einem Häkchen gekennzeichnet, da diese bei der vorgefertigten Experimentplanung schon berücksichtigt wurden. Dieses Feedback ähnelt dem lösungsprozessbezogenen Feedback von Scheuermann (2017) stark. Im Rahmen dieses ebenfalls schriftlich ausgestellten, elaborierten Feedbacks werden, genau wie beim Nur-Text Feedback, alle drei von Hattie und Timperley (2007) aufgestellten Feedbackfragen beantwortet. Zusätzlich werden, identisch zum Feedback der vorliegenden Untersuchung, für die Umsetzung der nächsten Schritte konkrete Beispiele und Handlungsanweisungen aufgeführt. Die mithilfe des Feedbacks verfasste Experimentplanung wurde in der Studie von Scheuermann (2017) ebenfalls mit Hilfe der in Kapitel 5.1.5 beschriebenen Qualitätsstufen bewertet. Die Schüler:innen erreichen in den neu verfassten Experimentplanungen in der Studie von Scheuermann (2017) überwiegend Qualitätsstufe 4

oder 5. Die Qualität der mithilfe von Feedback geschriebenen Experimentplanungen der vorliegenden Untersuchung unterscheidet sich stark. Hier erreichen die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text Feedback gearbeitet haben nur Qualitätsstufe 1 bis 3 und selten 4. Eine Erklärung für diesen Befund können die unterschiedlichen Experimente sein, die zu planen waren. Während in der Studie von Scheuermann (2017) das Thema „Metalle“ betrachtet wurde, wurde in der hier vorliegenden Untersuchung das Thema „Salze und Ionen“ untersucht. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Untersuchungen in unterschiedlichen Bundesländern durchgeführt wurden. Während die Untersuchung von Scheuermann (2017) in Schleswig-Holstein durchgeführt wurde, hat die Untersuchung des vorliegenden Projektes in Nordrhein-Westfalen stattgefunden. Schon der IQB-Ländervergleich aus dem Jahr 2012 zeigt, dass die Kompetenzstände der Schüler:innen in Schleswig-Holstein in der Domäne Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie nicht signifikant vom deutschen Mittelwert abweichen. Die Kompetenzstände der Schüler:innen in Nordrhein-Westfalen hingegen weichen in dieser Domäne signifikant vom deutschen Mittelwert ab und ein Lernrückstand ist anzunehmen (Pant et al., 2013).

Im Nur-Bild Feedback werden alle Informationen des Lernstands und der nächsten Schritte als Bilder präsentiert. Die Lernziele werden identisch zum Nur-Text Feedback in einem übergeordneten Kasten als schriftliche Stichpunkte aufgeführt. Die Merkmale der Variablenkontrollstrategie, die in der vorgefertigten Experimentplanung noch nicht berücksichtigt wurden, zählen als nächste Schritte und sind auf den Bildern mit einem roten Kasten eingerahmt. Die Merkmale, die bereits umgesetzt wurden, sind erneut als Lernstand zu verstehen und sind dementsprechend nicht mit einem roten Kasten versehen. Für die Bilder wurden Strichzeichnungen verwendet, da diese lernwirksamer als fotografisch-realistische Darstellungen sind (Leutner et al., 2014). Die in diesem Feedback verwendeten Bilder können zudem als instruktionale Bilder charakterisiert werden und sind im Vergleich zu dekorativen Bildern deutlich lernwirksamer (Schnotz, 2005). Da die Bilder den Verlauf des Experimentierprozesses inklusive der Umsetzung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie zeigen, stellen diese Bilder einen Mehrwert für das Lernen der Schüler:innen dar. Die Schüler:innen erreichen in der feedbackgestützten Experimentplanung, ähnlich wie die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text Feedback gearbeitet haben, überwiegend Qualitätsstufe 1 bis 3 und selten 4.

Im Text-Bild Feedback werden die Informationen zum Lernstand und den nächsten Schritten in einer Kombination aus Texten und Bildern präsentiert. Die Lernziele werden identisch zum Nur-Text und Nur-Bild Feedback in einem übergeordneten Kasten als schriftliche Stichpunkte aufgeführt. Das Text-Bild Feedback ist als eine Fusion des

## 6. Zweite Untersuchung

Nur-Text und Nur-Bild Feedbacks zu verstehen. Die Texte sind ähnlich zu den schriftlichen Informationen des Nur-Text Feedbacks und es wurden dieselben Bilder verwendet wie im Nur-Bild Feedback. Durch den kombinierten Einsatz von Texten und Bildern ist von einem multimedialen Lernmaterial zu sprechen. Die Gestaltung solcher multimedialen Lernmaterialien kann mithilfe der Gestaltungsprinzipien der CTML vorgenommen werden (Mayer, 2001). Im Text-Bild Feedback wurden das Multimedia, Personalization, Spatial Contiguity, Signaling sowie Coherence Principle umgesetzt (siehe Kapitel 6.1.3). Das Kombinieren von Text und Bild in Lernmaterialien führt dazu, dass kognitive Prozesse unterstützt und kognitive Ressourcen für die Verarbeitung von Informationen freigehalten werden. Die Effektivität der im Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien ist bereits in vielen Studien empirisch nachgewiesen worden. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen bestätigend vermuten, dass das Rückmelden von Feedbackinformationen über Texte und Bilder einen lerneffektiven Ansatz darstellt. Dies kann durch die Betrachtung der erreichten Qualitätsstufen in der feedbackgestützten Experimentplanung gestützt werden. Die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, erreichen die Qualitätsstufe 4 bis 5, was deutlich über den Experimentplanungen der Schüler:innen der anderen Feedbackgruppen liegt. Diese Aussagen werden später weiter ausgeführt.

Das Feedback der Vergleichsgruppe meldet die Informationen zurück, die auch die anderen drei Feedbackversionen zurückmelden. Jedoch wird dies ausschließlich über die Lernziele vorgenommen. Die Lernziele, die abgehakt sind, sind als Lernstand zu verstehen. Ist ein Merkmal nicht abgehakt, gilt dies als nächster zu gehender Schritt und soll beim Neuschreiben der Experimentplanung berücksichtigt werden. Die Feedbackinformationen werden somit nicht tiefergehend ausgeführt. Das Feedback der Vergleichsgruppe ähnelt dem von Wollenschläger et al. (2012) eingesetzten Feedback. Hier wurden ebenfalls die Lernziele aufgeführt und durch (nicht) Abhaken signalisiert, welche Merkmale als Lernstand bzw. als nächste Schritte zu verstehen sind. Die mithilfe des Feedbacks geschriebenen Experimentplanungen wurden ebenfalls mittels Qualitätsstufen bewertet. Die Schüler:innen erreichen in den feedbackgestützten Experimentplanungen in der vorliegenden Untersuchung eine Qualitätsstufe von 1 bis 2 und in der Studie von Wollenschläger et al. (2012) die Qualitätsstufe 2 bis 3.

Die Diskussion der Gestaltung des Feedbacks zeigt, dass die Experimentplanungen abhängig vom genutzten Feedback eine unterschiedliche Qualität aufweisen. Die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, schreiben signifikant bessere Experimentplanungen als die Schüler:innen aller anderen drei Feedbackgruppen. Das Text-Bild Feedback ist so lernunterstützend, da mehrere Kanäle für die Verarbeitung von Informationen zur Verfügung stehen. Die instruktionalen Bilder werden



durch kurze schriftliche Texte erklärt, wodurch alle Informationen gegeben werden, um eine Experimentplanung unter vollständiger Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie zu schreiben. Vor allem für Novizen dieser Inhaltsdomäne stellt das Text-Bild Feedback eine effektive Lernunterstützung dar (Scheiter et al., 2020). Johnson und Priest (2014) begründen im Rahmen des Feedback Principles des medialen Lernens, dass die Schüler:innen bei der Auswahl relevanter Informationen durch elaboriertes Feedback angeleitet werden, was vor allem für Novizen von Vorteil ist. Sind nur die Texte oder nur die Bilder gegeben, kann es dazu kommen, dass diese einzelne Repräsentation nicht verstanden wird und kein weiterer Kanal zur Verfügung steht, um die notwendigen Informationen zu generieren. Die Anleitung zur Auswahl an Informationen ist nur begrenzt gegeben. Dies kann durch den Unterschied im Cognitive Load der Schüler:innen bei der Arbeit mit dem Feedback bestätigt werden, welcher allgemein als Lernerfolgswirkung verstanden wird (Sweller, 1988).

Wie im Kapitel zu den Ergebnissen berichtet, führt die Arbeit mit dem Text-Bild Feedback zu einer signifikant niedrigeren wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und investierten Denkanstrengung beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie als die Arbeit mit dem Nur-Text Feedback sowie dem Feedback der Vergleichsgruppe. Dies kann mit der Gestaltung des Feedbacks mit Texten und Bildern und der damit einhergehenden Verarbeitung dieser Repräsentationen begründet werden. Das kombinierte Nutzen von Text und Bild in Lernmaterial ist vorteilhaft, da die Schüler:innen spezifische Vorteile der beiden Repräsentationsformen kombinieren können (Schnotz, 2014; Schnotz & Bannert, 2003). Der Vorteil des Textes ist, dass die Schüler:innen zu Beginn einer Aufgabe bei der konzeptionellen Analyse des Themas angeleitet werden. Bilder bieten den Vorteil, dass ein schneller und flexibler Zugang zu aufgabenspezifischen Informationen geboten wird. Die Text-Bild Integration wird als die gemeinsame Verarbeitung von schriftlich verbalen und bildlichen Informationen definiert, die für die Konstruktion einer mentalen Repräsentation eines Gegenstandes für einen bestimmten Zweck notwendig ist. Wenn eine mentale Repräsentation durch ausschließlich schriftlich verbale oder bildliche Informationen erstellt werden kann, kann der Lernende sich aussuchen, welche Informationsquelle genutzt wird. Die Text-Bild Integration ist jedoch eine Notwendigkeit, wenn die Text- oder Bildinformationen für sich genommen nicht ausreichen, um eine kohärente mentale Repräsentation zu erstellen. Die Informationen, die die Schüler:innen im Nur-Text oder Nur-Bild Feedback bekommen, reichen nicht aus, um eine kohärente mentale Repräsentation zu erstellen. Das Text-Bild Feedback schafft hier Abhilfe. Alle notwendigen Informationen werden über zwei Kanäle zur Verfügung gestellt, um das Erstellen einer kohärenten mentalen Repräsentation zu sichern. Erst wenn diese

## 6. Zweite Untersuchung

kohärente mentale Repräsentation erstellt wurde, können qualitativ hochwertige Experimentplanungen geschrieben werden. Somit stellt das kombinierte Rückmelden von Informationen über Texte und Bilder, erstellt nach den Gestaltungsprinzipien der CTML, einen lernunterstützenden Ansatz, im Vergleich zum Nutzen von ausschließlich Text, für das Ausstellen von Feedback dar. Kognitive Prozesse werden unterstützt und kognitive Ressourcen eingespart, um Informationen des Lernmaterials zu verarbeiten. Jedoch unterscheidet sich die wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und investierte Denkanstrengung zwischen den Schüler:innen der Text-Bild und Nur-Bild Feedbackgruppe nicht. Dies kann damit erklärt werden, dass es sich bei den Bildern des Nur-Bild Feedbacks um annotierte Bilder handelt, wodurch geringfügig zusätzliche Informationen für die Schüler:innen zur Verfügung stehen. Diese wenigen Informationen tragen möglicherweise zu einem besseren Verständnis der Bilder und einem geringen Cognitive Load bei. Jedoch ist es im Chemieunterricht selten, dass ein Bild keinerlei schriftliche Annotation enthält, da so die Aussagekraft eingeschränkt wird. Um die Bilder des Nur-Bild Feedbacks so nah wie möglich an die Situation im Chemieunterricht anzulehnen, wurden annotierte Bilder eingesetzt.

Neben dem Cognitive Load stellt auch die Motivation der Schüler:innen einen wichtigen Faktor für Lernerfolg dar (Ryan & Deci, 2000). Ein Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass die Schüler:innen unabhängig von der genutzten Feedbackversion ähnlich durchschnittlich bis wenig motiviert sind. Deskriptiv ist die Motivation der Schüler:innen der Text-Bild-Feedbackgruppe aber am höchsten. Das Feedback hat keinen Einfluss auf die Motivation der Schüler:innen. Für diesen Befund können verschiedene Erklärungen gegeben werden. Die im Nur-Bild und Text-Bild Feedback eingesetzten Bilder fungieren als instruktionale Bilder, welche im Vergleich zu dekorativen Bildern zwar höchst lernförderlich, aber deutlich weniger motivierend sind (Mayer, 2001; Schnotz, 2005). Dekorative Bilder nehmen eine motivationale Funktion ein, wodurch empirisch bewiesen das situationale Interesse steigt, welches ebenfalls für den Lernerfolg von Relevanz ist. Im Sinne von Seductive Details sind dekorative Bilder aber wenig lernförderlich, da sie das Arbeitsgedächtnis mit überflüssig irrelevanten Informationen belasten und nur noch wenig Kapazität für das Lernen zur Verfügung steht. Der Einsatz dekorativer Bilder steht außerdem im Konflikt mit der Cognitive Load Theory. Diese besagt, dass das Arbeitsgedächtnis begrenzt ist und dekorative Bilder zu einem erhöhten Extraneous Cognitive Load führen. Sie sollten somit in Lernmaterial vermieden werden (Chandler & Sweller, 1991). Aufgrund dieser Befundlage wurden instruktionale Bilder im Feedback eingesetzt, um möglichst lernunterstützendes Lernmaterial zu erstellen. Die Ergebnisse zu motivationalen Effekten des Feedbacks können zusätzlich mithilfe der Selbstbestimmungstheorie der Motivation von Deci

und Ryan (1985) erklärt werden (siehe Kapitel 2.4). Im Rahmen dieser Theorie stellen das Erleben von Kompetenz, Autonomie sowie sozialer Eingebundenheit ausschlaggebende Faktoren für die Motiviertheit dar. In der zweiten Untersuchung des vorliegenden Projektes haben die Schüler:innen lediglich einmal mit Feedback gearbeitet. Somit ist fraglich, inwieweit das Erleben von Kompetenz stattfindet. Es kann nicht das Gefühl entstehen, dass die Bearbeitung der Aufgabe beim nächsten Mal besser funktioniert hat. Zudem hebt das Feedback Schwächen hervor, die das Erleben von Kompetenz zusätzlich stark einschränken. Um das Kompetenzerleben bei der Arbeit mit Feedback zu stärken, sollte selbstwirksames Handeln gefördert werden, indem Feedback im Sinne einer Möglichkeit zur Verbesserung gegeben und kommuniziert wird. Je öfter mit Feedback gearbeitet wird, desto eher wird das Erhalten von Feedback als gut gemeinte Möglichkeit zur Verbesserung anerkannt, obwohl Schwächen rückgemeldet werden. Das Feedback stellt zudem durchaus hohe und vor allem stark gelenkte Anforderungen an die Schüler:innen. Somit ist nicht klar, ob das Gefühl von Autonomie entsteht. Dies könnte über das zur Verfügung stellen von Wahl- und Entscheidungsfreiheiten verbessert werden, was jedoch bei der Arbeit mit Feedback Herausforderungen birgt, da das Geben und Erhalten von Feedback einen geregelten Prozess darstellt. Zudem arbeiten die Schüler:innen in Einzelarbeit, was das Erleben von sozialer Eingebundenheit hemmt. Um dem entgegenzuwirken, können nicht nur kooperative Sozialformen, sondern auch kooperative Formen von Feedback eingesetzt werden. Es kann von individuellem Feedback abgewichen und Feedbackformen im Sinne eines Peer-Assessments eingesetzt werden. Diverse nationale und internationale empirische Studien zeigen, dass Peer-Feedback ebenfalls als lernunterstützend charakterisiert werden kann (Bedford & Legg, 2007; Falchikov & Goldfinch, 2000; Gan Joo Seng & Hill, 2014). Für den naturwissenschaftlichen Unterricht konnte bereits bestätigt werden, dass experimentelle Kleingruppenarbeit lernwirksam durch Feedback unterstützt werden kann (Walpuski, 2006). Zusätzlich ist auf das Szenario basierte Untersuchungsdesign einzugehen. Da die Schüler:innen Feedback zu einer fremden Leistung und nicht zu einer eigenen Leistung erhalten, kann die Motivation eingeschränkt werden, da keine Identifikation mit dem Feedback stattfindet.

Neben kognitiven und affektiven Schüler:innenmerkmalen stellt auch die wahrgenommene Kompetenzunterstützung durch das Lernmaterial einen wichtigen Faktor für die Art und Weise des Lernens und das Erklären auftretender Effekte dar. Hier zeigt sich ein ähnliches Ergebnis wie das zur Untersuchung motivationaler Effekte des Feedbacks. Erneut hat die spezifisch genutzte Feedbackversion keinen Einfluss auf die wahrgenommene Kompetenzunterstützung.

## 6. Zweite Untersuchung

Die wahrgenommene Kompetenzunterstützung durch das Feedback liegt allgemein auf einem durchschnittlichen Niveau und ist für das Feedback der Vergleichsgruppe am niedrigsten und für das Text-Bild Feedback am höchsten. Da, abgesehen vom Feedback der Vergleichsgruppe, das Nur-Text, Nur-Bild und Text-Bild Feedback im Sinne eines elaborierten Unterstützungsmaterials mit hoher Informationsdichte eingesetzt wurden, ist dieser Befund nicht überraschend, sondern erwartungskonform. Bisherige Untersuchungen haben zudem nur dann einen Einfluss von Feedback auf die wahrgenommene Kompetenzunterstützung feststellen können, wenn der Feedbacksender (Fremd- vs. Selbstfeedback) variiert wurde (Scheuermann, 2017; Wollenschläger et al., 2012), was im vorliegenden Projekt nicht der Fall ist.

Hypothese 2a kann somit teilweise bestätigt werden. Das Text-Bild Feedback führt zu einem signifikant niedrigeren Cognitive Load als das Nur-Text Feedback und das Feedback der Vergleichsgruppe. Zudem sind die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, deskriptiv am motiviertesten und schätzen die Kompetenzunterstützung durch dieses Feedback am höchsten ein.

Weiterführend wurde im Rahmen von Forschungsfrage 2b der potenziell mediierende Effekt von Cognitive Load, Motivation und wahrgenommener Kompetenzunterstützung untersucht, wenn mit Hilfe von Feedback Experimente unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geplant werden:

**Forschungsfrage 2b:** Inwiefern wird der Einfluss von Feedback auf die Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie über den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung vermittelt?

**Hypothese 2b:** Der Cognitive Load mediiert den Effekt des Feedbacks auf die Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie nicht (Scheuermann, 2017). Die Motivation mediiert den Effekt des Feedbacks auf den Lernzuwachs gemessen an der Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Vollmeyer & Rheinberg, 2005). Die wahrgenommene Kompetenzunterstützung mediiert den Effekt des Feedbacks auf die Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Scheuermann, 2017; Wollenschläger, 2012).

Erklärungen für die Ergebnisse des mediierenden Effektes kognitiver und affektiver Schüler:innenmerkmale resultieren aus den oben diskutierten Aspekten. Dem Ergebnisteil ist zu entnehmen, dass, entgegen den Ergebnissen von Scheuermann (2017), der Cognitive Load ein Mediator zwischen der eingesetzten Feedbackversion und der Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie ist.

Die Motivation, wie in der Literatur von Vollmeyer und Rheinberg (2005) beschrieben, und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung, entgegen den Befunden von Scheuermann (2017) und Wollenschläger et al. (2012), stellten sich nicht als Mediatoren heraus.

Der mediierende Effekt des Cognitive Load in der Nur-Bild und Text-Bild Feedbackgruppe ist in der besonderen Gestaltung des Feedbacks zu begründen. Im Gegensatz zum eingesetzten Feedback in der Studie von Scheuermann (2017), welches nur textliche Informationen rückmeldet, wird hier der Einsatz eines Text und Bild kombinierenden Feedbacks genutzt. Durch die zusätzliche Repräsentationsform kann der Kanal für die Informationsverarbeitung individuell gewählt und eine kohärente mentale Repräsentation erstellt werden. Dies ist ressourcenschonend, da keine zusätzliche kognitive Belastung durch die Gestaltung des Lernmaterials ausgelöst wird. Gründe für den ausbleibenden Effekt des Feedbacks auf die Motivation der Schüler:innen wurden weiter oben bereits diskutiert. Jedoch konnten auch Vollmeyer und Rheinberg (2005) keinen mediierenden Effekt der Motivation bei der Arbeit mit Feedback finden. Zudem wurden bereits Gründe für den ausbleibenden Effekt des Feedbacks auf die wahrgenommene Kompetenzunterstützung diskutiert. Anders als bei Scheuermann (2017) und Wollenschläger et al. (2012) konnte kein mediierender Effekt dieser Variable nachgewiesen werden. Dies liegt in der stark unterschiedlich aufbereiteten Form von Feedback im Vergleich zu den in den genannten Studien eingesetzten Rückmeldungen. Die Feedbackversionen aus den Studien von Scheuermann (2017) und Wollenschläger et al. (2012) variieren im Feedbacksender, wodurch diese als unterschiedlich unterstützend wahrgenommen werden. Das in dieser Untersuchung eingesetzte Feedback unterscheidet sich nicht im Feedbacksender, sondern in der Gestaltung dieser Informationen und somit werden die eingesetzten Feedbackversionen als ähnlich unterstützend wahrgenommen.

Hypothese 2b kann folglich nur teilweise bestätigt werden. Entgegen den theoretischen Annahmen stellte sich der Cognitive Load in dieser Untersuchung als Mediator heraus. Theoriekonform nimmt die Motivation bei der Arbeit mit Feedback keine mediierende Rolle ein. Ebenfalls, entgegen der zuvor angestellten theoretischen Annahmen, stellte sich die wahrgenommene Kompetenzunterstützung nicht als Mediator bei der Arbeit mit Feedback heraus.

### **Qualitative Ergebnisse**

Die qualitativen Ergebnisse zeigen, dass viele der in Untersuchung 1 extrahierten unterstützenden Feedbackmerkmale von den Schüler:innen in den vier eingesetzten Feedbackversionen wahrgenommen und positiv bewertet werden. Daraus kann

## 6. Zweite Untersuchung

geschlussfolgert werden, dass die Überarbeitung des Feedbacks basierend auf den Daten der ersten Untersuchung gut gelungen ist. Für das Nur-Text und Nur-Bild Feedback gibt es jedoch Verbesserungsvorschläge. Die Schüler:innen, die mit dem Nur-Text Feedback gearbeitet haben, äußern, dass zusätzliche Bilder helfen würden, das Feedback und den Experimentierprozess besser zu verstehen. Die Schüler:innen der Nur-Bild-Feedbackgruppe äußern hingegen, dass kurze erklärende Texte zu den Bildern hilfreich wären, um tiefere Informationen hinsichtlich des Experimentierprozesses zu generieren. Für das Text-Bild Feedback gab es keine Verbesserungsvorschläge. Die Rückmeldungen von den Schüler:innen sprechen dafür, dass die Gestaltung des Feedbacks über Texte und Bilder einen sinnvollen Ansatz für eine effektive Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial darstellt.

### 6.4 Limitationen

In der vorliegenden Untersuchung haben die Schüler:innen lediglich einmal mit Feedback gearbeitet. Im Sinne des formativen Assessments sollte das Geben und Erhalten von Feedback als eine regelmäßige Unterrichtskultur praktiziert werden. So stellt sich ein routinierter Umgang mit Feedback ein und das Erhalten von Feedback wird nicht als Kritik an der eigenen Leistung, sondern als Chance zur Weiterentwicklung angesehen. Vor allem für das Adressieren affektiver Schüler:innenmerkmale, wie der Motivation, ist es von Vorteil, wenn Feedback regelmäßig erhalten wird, da so gelernt wird, dass Aspekte, die verbessert werden sollten, nichts Schlechtes, sondern förderlich für den Lernprozess sind.

Die Erkenntnisse gelten lediglich für den Chemieunterricht der Jahrgangsstufe 9 an Gymnasien und eine Verallgemeinerung auf andere Jahrgangsstufen, Schulformen oder Unterrichtsfächer bleibt offen. Die externe Validität ist dadurch eingeschränkt. Da der Fokus dieser Untersuchung auf der Kompetenz des Planens von Experimenten liegt und weitere Denk- und Arbeitsweisen, wie z. B. das Durchführen von Experimenten, nicht betrachtet wurden, ist die interne Validität hoch, die Befunde jedoch nicht ohne weitere Untersuchungen auf Unterricht übertragbar. Mit den zwei einzelnen Likert-skalierten Items zur Erfassung des Cognitive Load (Kalyuga et al., 1999; Sweller, 1988) wurden statistische Analysen gerechnet, welche auf der Anwendung parametrischer Testverfahren beruhen. Baur und Blasius (2022) erlauben dieses Vorgehen, mit der Bedingung, dass die optimale Anzahl an Antwortkategorien sieben plus/minus zwei Stufen beträgt (Bühner, 2021; Porst, 2014).

### **Schlussfolgerungen hinsichtlich der Forschungsfrage 2**

Die Forschungsfrage 2 adressiert a) die Untersuchung des Effektes verschiedener Feedbackversionen auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung von Schüler:innen beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie sowie b) die Untersuchung medierender Effekte dieser Schüler:innenmerkmale auf die Qualität von Experimentplanungen unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie.

Hinsichtlich Forschungsfrage 2a ist festzuhalten, dass das Text-Bild Feedback zu einem signifikant niedrigeren Cognitive Load von Schüler:innen führt im Vergleich zu den drei anderen eingesetzten Feedbackversionen. Signifikante Unterschiede in Motivation und wahrgenommener Kompetenzunterstützung zwischen den Untersuchungsgruppen bleiben aus. Mit Blick auf den Cognitive Load lässt sich schlussfolgern, dass Feedback, welches Informationen über Texte und Bilder rückmeldet und nach den Gestaltungsprinzipien der CTML aufbereitet wurde, ein unterstützendes Lernmaterial darstellt. Um motivationale Effekte beobachten zu können, müssten Anpassungen vorgenommen werden, die aber im Widerspruch zu den Theorien kognitiver Belastung stehen. So würden dekorative Bilder eine motivationale Funktion einnehmen, den Lernerfolg aber einschränken. Somit muss sorgfältig abgewogen werden, welche Schüler:innenmerkmale konkret adressiert werden sollen und welcher Weg der Gestaltung und Umsetzung von Feedback gewählt wird. Da die wahrgenommene Kompetenzunterstützung für alle vier Feedbackversionen ähnlich hoch war, ist davon auszugehen, dass das Lernmaterial eine unterstützende Wirkung erzielt, welche vor allem durch den rückgemeldeten Inhalt ausgelöst wird.

Hinsichtlich Forschungsfrage 2b ist festzuhalten, dass lediglich der Cognitive Load, aber nicht die Motivation oder wahrgenommene Kompetenzunterstützung, ein Mediator zwischen der genutzten Feedbackversion und der Qualität der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie ist. Auch hier kann geschlussfolgert werden, dass die Kombination von Texten und Bildern als Repräsentationsform des Rückmeldens von Inhalten einen effektiven Ansatz für das Erzielen tiefergehender kognitiver Effekte darstellt. Allgemein ist festzuhalten, dass das Text-Bild Feedback ein effektives Lernmaterial hinsichtlich des schonenden Umgangs mit kognitiven Ressourcen und dem Erzielen einer hohen Lernunterstützung darstellt. Abschließend bleibt in einer dritten Untersuchung zu klären, wie stark der Cognitive Load und die Kompetenzen zum Planen eines Experiments im Verlauf der Lerngelegenheit ausgeprägt sind und an welchem Punkt es zum Aufbau von Kompetenzen kommt sowie ein niedriger Cognitive Load zu beobachten ist. Außerdem muss im Rahmen von Interviews überprüft werden, ob Schüler:innen nach der Arbeit mit dem Text-Bild

## 6. Zweite Untersuchung

Feedback in der Lage sind zu reflektieren, warum die einzelnen Merkmale der Variablenkontrollstrategie umgesetzt werden müssen. Zudem gilt es zu untersuchen, welche der im Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien als hilfreich eingeschätzt werden.



### **7. Dritte Untersuchung**

Zur weiterführenden Untersuchung des Text-Bild Feedbacks wurde eine abschließende dritte Querschnittserhebung durchgeführt. Ein besonderer Fokus liegt auf der Ausprägung des Cognitive Load sowie auf der Ausprägung der Kompetenz des Planens eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie in der Lerngelegenheit. Mit Hilfe von Interviews soll zusätzlich untersucht werden, ob Schüler:innen nach der Arbeit mit dem Feedback die Anwendung der Lernziele zur Experimentplanung reflektieren können und welche Merkmale des Feedbacks für eine besonders effektive Verarbeitung der dargestellten Informationen verantwortlich sind.

#### **7.1 Methodik**

##### **7.1.1 Untersuchungsdesign**

In dieser Untersuchung umfasst die Datenerhebung zwei Sitzungen. In der ersten Sitzung werden die Kontrollvariablen erhoben. In der zweiten Sitzung wird mit dem Text-Bild Feedback, gemäß des Szenario basierten Ansatzes der zweiten Untersuchung, gearbeitet. Die zweite Testsitzung wurde folgendermaßen im Sinne einer Lerngelegenheit umgesetzt: Die Schüler:innen erhalten eine vorgefertigte Experimentplanung, die nicht alle notwendigen Merkmale der Variablenkontrollstrategie beinhaltet. In Bezug auf diese vorgefertigte Planung wurde das Feedback generiert. Die Feedbackversionen unterscheiden sich somit nicht im rückgemeldeten Inhalt, sondern in der Gestaltung der rückgemeldeten Informationen. Die Schüler:innen haben die vorgefertigte Experimentplanung mithilfe des jeweiligen Feedbacks überarbeitet und auf dem Forscherbogen neu verschriftlicht. Diese überarbeitete Experimentplanung wurde mithilfe des Bewertungsschemas bewertet. Um die Forschungsfrage hinsichtlich der Ausprägung des Cognitive Load und der Kompetenz zum Planen eines Experiments beantworten zu können, werden zwischen den einzelnen Schritten in der Lerngelegenheit Testinstrumente eingesetzt, welche diese Variablen messen. Abschließend werden mit einzelnen Schüler:innen Leitfadeninterviews geführt, um die Anwendung der Lernziele zur Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie sowie die Informationspräsentation des Lernstands und der nächsten Schritte im Feedback zu reflektieren.

Zu Beginn der Sitzungen und zwischen den Aufgabenabschnitten wurden die Aufgabenstellungen durch die Testleitung erklärt. Die zur Verfügung stehende Zeit wurde den Schüler:innen vor jedem neuen Aufgabenabschnitt mitgeteilt. Jeder Aufgabenabschnitt wurde im Klassenverbund begonnen und das Testheft wurde insgesamt in Einzelarbeit bearbeitet. Die thematische Ausrichtung der Datenerhebung erfolgte auf

## 7. Dritte Untersuchung

Grundlage des Kernlehrplans für das Fach Chemie an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Das Thema „Salze und Ionen“ des Inhaltsfeldes 6 wird regulär in der 8. Jahrgangsstufe unterrichtet. Aufgrund des Entfalls von Unterricht während der Corona Pandemie kam es jedoch zu Verzug in den Inhaltsfeldern, sodass die Datenerhebung in der 9. Jahrgangsstufe durchgeführt wurde.

**1. Sitzung der Datenerhebung:** Die Schüler:innen füllen einen Fachwissenstest zum Thema „Salze und Ionen“, den kognitiven Fähigkeitstest (N1-Subskala zur Figurenklassifikation) (Heller & Perleth, 2000) und einen Test zum Wissen über die Variablenkontrollstrategie (Nehring, 2014) aus.

**2. Sitzung der Datenerhebung:** Die Datenerhebung startet mit dem Ausfüllen der ersten Aufgabe des Testinstruments zur Erfassung der Kompetenz zum Planen eines Experiments (MZP 0). Anschließend sollen sich die Schüler:innen in eine Unterrichtssituation im Chemieunterricht hineinversetzen und die Experimentplanung der Schülerin Lea, welche die vorgefertigte Experimentplanung darstellt, lesen. Auf dem Forscherbogen von Lea wurde ein Experiment zum Vergleich der Leitfähigkeit einer Kochsalz- und einer Zuckerlösung geplant und die Variablenkontrollstrategie nicht in vollem Umfang angewendet. Die Frage und die Hypothese, die dem zu planenden Experiment zugrunde liegen, wurden vorgegeben. Die Frage lautet „Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?“. Hierzu wurde folgende Hypothese angegeben „Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckerlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.“. Im Anschluss daran sollen die Schüler:innen Angaben zum Cognitive Load beim Lesen der vorgefertigten Experimentplanung machen (Kalyuga et al., 1999; Paas, 1992) und die zweite Aufgabe des Testinstruments zur Erfassung der Kompetenz zum Planen eines Experiments ausfüllen (MZP 1). Folgend haben die Schüler:innen das jeweilige Feedback zu Leas Experimentplanung gelesen und Angaben zum Cognitive Load beim Lesen des Feedbackbogens gemacht (Kalyuga et al., 1999; Paas, 1992). Danach folgt die dritte Aufgabe des Testinstruments zur Erfassung der Kompetenz zum Planen eines Experiments (MZP 2). Schließlich haben die Schüler:innen die Experimentplanung von Lea basierend auf den Informationen des Feedbacks verbessert und auf dem Forscherbogen verschriftlicht sowie Angaben zum Cognitive Load beim feedbackgestützten Experimentplanen gemacht (Kalyuga et al., 1999; Paas, 1992). Abschließend folgt das Ausfüllen der vierten Aufgabe des Testinstruments zur Erfassung der Kompetenz zum Planen

eines Experiments (MZP 3). Im Anschluss an das Ausfüllen des Testheftes wurden mit einzelnen Schüler:innen Leitfadeninterviews geführt.

### **7.1.2 Stichprobe**

Die Querschnittserhebung wurde mit insgesamt  $N = 178$  Schüler:innen der 9. Jahrgangsstufe an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Hiervon haben  $N = 15$  an den Interviews teilgenommen. Die Schulleitungen, die Lehrkräfte sowie die Eltern der Schüler:innen haben zur Durchführung der Datenerhebung zugestimmt. An den teilnehmenden Schulen wurde das Fach Chemie ab der 7. Klasse unterrichtet. Die Datenerhebung fand in den regulären Chemieunterrichtsstunden statt, an denen die Schüler:innen aufgrund ihrer Schulpflicht teilnehmen mussten. Der zeitliche Umfang einer jeden Testsitzung wurde trotz unterschiedlich langer Unterrichtsstunden gleich gehalten.

Die Beschreibung des Forscherbogens und des Bewertungsschemas für die verschriftliche Experimentplanung sind identisch zur ersten Untersuchung (siehe Kapitel 5.1.4 und 5.1.5). Da sich in der zweiten Untersuchung das Text-Bild Feedback als das effektivste Feedback herausgestellt hat, wird dieses unverändert eingesetzt.

### **7.1.3 Testinstrumente**

Zur Untersuchung der Ausprägung des Cognitive Load sowie der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie in der Lerngelegenheit wurde die zuvor beschriebene Querschnittserhebung durchgeführt. Nachfolgend werden die eingesetzten Testinstrumente erklärt.

## 7. Dritte Untersuchung

Tabelle 39: Übersicht über die Testinstrumente der dritten Untersuchung

Testzeitpunkt	Gesamtdauer [Minuten]	Dauer der Testabschnitte [Minuten]	Variable	Testinstrument
1. Sitzung	49	20	Fachwissen	Zum Thema „Salze und Ionen“ (van Vorst, unveröffentlicht)
		9	Kognitive Fähigkeiten	Kognitiver Fähigkeits-Test für 9. Klassen - Subskala N1 Figurenklassifikation von Heller and Perleth (2000)
		20	Variablenkontrollstrategie	Wissen über die Variablenkontrollstrategie adaptierter Test nach Nehring (2014)
2. Sitzung	45	10	Kompetenz zum Planen eines Experiments	Eigenentwicklung in Anlehnung an Klos (2008), Koenen (2014) und Walpuski (2006)
		10	Cognitive Load	Wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit (Kalyuga et al., 1999) und investierte Denkanstrengung (Paas, 1992)
		10	Experimentplanung und Feedback lesen	Experiment (Sieve et al., 2022)
		15	Experimentplanung überarbeiten	Forscherbogen (Scheuermann, 2017)

In der zweiten Untersuchung wurden dieselben Testinstrumente wie in der ersten und zweiten Untersuchung eingesetzt. Lediglich die Kompetenz zum Planen eines Experiments wurde mit einem selbstentwickelten Testinstrument erhoben. Eine Beschreibung der Testinstrumente kann Kapitel 5.1.6 entnommen werden. Im Folgenden

werden die Reliabilitäten der jeweiligen Testinstrumente berichtet und das Instrument zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments beschrieben.

**Fachwissen:** Das Fachwissen wurde im Sinne einer Kontrollvariable erhoben. In Anlehnung an die Analysen der ersten Studie wurden 19 Items im Multiple-Choice-Single-Select Format genutzt. Im Rahmen der dritten Untersuchung wurde eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .77$  ermittelt (Moosbrugger & Kelava, 2020).

**Kognitive Fähigkeiten:** Die kognitiven Fähigkeiten wurden ebenfalls als Kontrollvariable erhoben. Es wurde eine angemessene Reliabilität von  $\alpha = .65$  ermittelt.

**Wissen über die Variablenkontrollstrategie:** Das Wissen über die Variablenkontrollstrategie wurde als dritte Kontrollvariable erhoben. Es wurde eine hohe Reliabilität von  $\alpha = .94$  ermittelt.

**Experimentplanung:** Die Experimentplanung wurde anhand des Bewertungsschemas zu den Merkmalen der Variablenkontrollstrategie kodiert (siehe Kapitel 5.1.5). Für die Berechnung der Reliabilität wurden die Merkmale der Experimentplanung als Items der offenen Aufgabe betrachtet. Die Reliabilität beträgt  $\alpha = .74$  und kann als angemessen eingeordnet werden.

**Cognitive Load:** Der Cognitive Load wird im Verlauf der Lerngelegenheit zu drei verschiedenen Messzeitpunkten mit zwei einzelnen Items erhoben (Kalyuga et al., 1999; Paas, 1992).

**Kompetenz zum Planen eines Experiments:** Da die Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie im Verlauf der Lerngelegenheit ermittelt werden soll, wurde hierzu ein Testinstrument entwickelt und im Zuge einer Pilotierung evaluiert. Das Testinstrument besteht aus vier thematisch verschiedenen Subskalen, die jeweils aus sieben Items bestehen. Die Schüler:innen werden dazu aufgefordert in Form von sieben Multiple-Choice-Single-Select Items ein Experiment zu einer vorgegebenen Vermutung zu planen. Diese sieben Items decken jeweils die Merkmale einer vollständigen Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Tabelle 3) ab. Auf das Angeben von Materialien, Chemikalien und Sicherheitsvorkehrungen wurde verzichtet, sodass lediglich die Merkmale eins bis acht berücksichtigt werden. Die Merkmale eins und vier werden zusammengefasst, woraus sieben Items entstehen, die acht Merkmale einer

## 7. Dritte Untersuchung

Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie abdecken. Die Aufgabenstellungen der Items decken für jede der vier Subskalen einen identischen Arbeitsauftrag ab und werden nur an das jeweilige Thema angepasst. Zudem wird die Antwortmöglichkeit über Texte und dazugehörige Bilder visualisiert. Thematisch orientieren sich diese am Naturwissenschaftlicher-Arbeitsweisen-Test (Klos, 2008; Koenen, 2014; Walpuski, 2006) und bedienen folgende Themen:

1. Vergleich der Auswirkung zweier Backtriebmittel auf die Höhe von Muffins (BT)
2. Vergleich der Auswirkung von Sonneneinstrahlung auf das Schmelzen zweierlei Süßigkeiten (SK)
3. Vergleich der Auswirkung des verwendeten Materials für ein Schiffchen auf das Sinken im Wasser (SC)
4. Vergleich der Auswirkung Wasser unterschiedlichen Härtegrades auf das Schäumen von Waschmittel (WA)

Im Folgenden wird beispielhaft eine der vier Subskalen ausführlicher beschrieben. Die Vermutung zu Thema 1 lautet „Leon und Marie vermuten, dass Muffins beim Backen höher werden, wenn Natron anstelle von Backpulver verwendet wird.“. Die übergeordnete Aufgabenstellung lautet „Sie wollen diese Vermutung mithilfe eines Experiments überprüfen. Hilf den beiden bei der Planung des Experiments! Kreuze die eine richtige Antwort an.“ In der nachstehenden Tabelle wird die Aufgabenstellung jedes der sieben Items dem entsprechenden Merkmal der Experimentplanung zugeordnet.

Tabelle 40: Zuordnung des Merkmals der Experimentplanung zur Aufgabenstellung eines jeden Items des Testinstruments beispielhaft für das erste Thema „Backtriebmittel“

Item	Merkmal der Experimentplanung	Aufgabenstellung
1	Überprüfung der Hypothese Benennung der unabhängigen Variablen	Welchen Ansatz sollen Leon und Marie wählen? Kreuze an!
2	Angaben zur unabhängigen Variablen	Wie viel der Zutaten sollen Leon und Marie jeweils nutzen? Kreuze an!
3	Benennung der abhängigen Variablen	Wie können Leon und Marie feststellen, welche Zutat besser wirkt? Kreuze an!
4	Messung der abhängigen Variablen	Mit welchem Instrument können Leon und Marie messen, welche Zutat besser wirkt? Kreuze an!
5	Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer	Wann können Leon und Marie mit dem Messen beginnen? Kreuze an!
6	Konstant halten von Störvariablen	Welche Einflussfaktoren müssen Leon und Marie gleich halten, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen? Kreuze an!
7	Beschreibung von Kontrollversuchen	Wie können Leon und Marie das Experiment verändert durchführen, um die Ergebnisse zu prüfen? Kreuze an!

Das Testinstrument wurde in einer Pilotierung eingesetzt und überprüft. An der Pilotierung haben  $N = 51$  Schüler:innen von Gymnasien der Jahrgangsstufe 9 in Nordrhein-Westfalen teilgenommen. Damit eine Auswirkung des Themas auf das Antwortverhalten ausgeschlossen werden kann, wurden die vier Subskalen durchrotiert und das Testheft in vier verschiedenen Versionen (A-D) eingesetzt. Für das gesamte Testinstrument bestehend aus 28 Items kann eine Reliabilität von  $\alpha = .66$  berichtet werden, welche als angemessen eingeordnet wird (Moosbrugger & Kelava, 2020). Detailliertere Ergebnisse der Pilotierung können Kapitel 7.1.6 entnommen werden.

#### 7.1.4 Statistische Analysen

Die Auswertung der Ergebnisse der dritten Untersuchung erfolgte mittels der gleichen Analysen wie in der ersten und zweiten Untersuchung. Zur Analyse der Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie sowie des Cognitive Load werden Varianzanalysen mit Messwiederholung herangezogen. Für weitere Beschreibungen der Analysen siehe Kapitel 5.1.7. Für die Auswertung der Daten der Pilotierungsstudie des Testinstruments zum Erfassen

## 7. Dritte Untersuchung

der Kompetenz zum Planen eines Experiments wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse herangezogen. Diese wird im Folgenden beschrieben.

### **Konfirmatorische Faktorenanalyse**

Die konfirmatorische Faktorenanalyse stellt neben der explorativen Faktorenanalyse (siehe Kapitel 5.1.7) ein weiteres Verfahren zum Prüfen psychometrischer Modelle dar. Es werden Zusammenhänge zwischen beobachtbaren Variablen (Indikatorvariablen) und latenten Variablen (nicht direkt beobachtbaren Merkmalen) als Hypothese formuliert und geprüft. Im Unterschied zur explorativen Faktorenanalyse wird die konfirmatorische Faktorenanalyse dann eingesetzt, wenn Hypothesen explizit spezifiziert und getestet werden sollen. Deswegen wird die konfirmatorische Faktorenanalyse auch als strukturprüfendes Verfahren zur Hypothesenprüfung charakterisiert. Somit kann die Passung theoretisch begründeter Modelle zu empirischen Daten geprüft werden (Moosbrugger & Kelava, 2020).

### **7.1.5 Interviews**

Insgesamt wurden mit  $N = 15$  Schüler:innen Leitfadeninterviews geführt, um die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen eines Experiments sowie die Informationspräsentation des Lernstands und der nächsten Schritte anhand der Gestaltungsprinzipien der CTML zu reflektieren. Ein Teil der Interviews wurde von einer wissenschaftlichen Hilfskraft durchgeführt, welche zuvor ein entsprechendes Training erhalten hat. Diese Hilfskraft hat zusätzlich alle Interviews kodiert, damit die Interraterreliabilität bestimmt werden kann. Auch hierfür wurde ein Training absolviert. Nachfolgend werden der Interviewleitfaden und darauffolgend die strukturierende qualitative Inhaltsanalyse als Auswertungsmethode vorgestellt.

### **Interviewleitfaden**

Der Interviewleitfaden gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil wird die Anwendung der Variablenkontrollstrategie bei der Planung des Experiments anhand der Merkmale einer vollständigen Experimentplanung (siehe Tabelle 3) reflektiert. Hierzu werden die folgenden acht Fragen gestellt (siehe Tabelle 41), welche in der nachstehenden Tabelle den entsprechenden Merkmalen einer vollständigen Experimentplanung zugeordnet sind. Die Fragen zielen darauf ab, dass die Schüler:innen reflektieren, warum diese Merkmale bei der Planung eines Experiments umgesetzt werden sollen. Anhand der Aussagen soll nachvollzogen werden, ob die Merkmale lediglich aufgrund des Vorhandenseins im Feedbackbogen oder aufgrund eines tiefergehenden fachlichen Verständnisses umgesetzt werden. Während des Interviews wird der Feedbackbogen



aktiv einbezogen, um durch das Zeigen auf die Merkmale der Variablenkontrollstrategie den gemeinsamen Gesprächsgegenstand zu sichern.

Tabelle 41: Interviewfragen des ersten Teils des Leitfadeninterviews der dritten Untersuchung

Merkmal der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie	Interviewfrage
Überprüfung der Hypothese Benennung der unabhängigen Variablen	Warum hast du diese beiden Lösungen miteinander verglichen?
Angaben zur unabhängigen Variablen	Warum hast du für Salz und Zucker genaue Maßangaben festgelegt und diese für beide Stoffe gleich gehalten?
Benennung der abhängigen Variablen Messung der abhängigen Variablen	Welche Information liefert das Messinstrument?
Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer	Warum hast du die Messzeit für das Messen der Leitfähigkeit für beide Lösungen genau festgelegt?
Konstant halten von Störvariablen	Warum ist es wichtig, Einflussfaktoren konstant zu halten?
Beschreibung von Kontrollversuchen	Warum würdest du das gleiche Experiment wiederholen? Muss man bei der Wiederholung etwas beachten? Warum hast du einen Parallelansatz gemacht?

Im zweiten Teil des Interviews wird die Unterstützung der Informationspräsentation des Lernstands und der nächsten Schritte aufgrund der Anwendung der Gestaltungsprinzipien CTML besprochen. Hierzu werden neun Fragen gestellt (siehe Tabelle 42), welche konkret die Gestaltungsprinzipien adressieren. Die Fragen zielen darauf ab, dass die Schüler:innen einschätzen, wie hilfreich das umgesetzte Gestaltungsprinzip für sie ist und warum sie zu dieser Einschätzung kommen. Während des Interviews werden die Gestaltungsprinzipien auf dem Feedbackbogen gezeigt, damit ein gemeinsames Verständnis des Gesprächsgegenstandes gesichert ist.

## 7. Dritte Untersuchung

Tabelle 42: Interviewfragen des zweiten Teils des Leitfadeninterviews der dritten Untersuchung

Gestaltungsprinzip der CTML	Interviewfrage
Multimedia Principle	<ul style="list-style-type: none"><li>- Findest du die Kombination von Texten und Bildern hilfreich? Warum?</li><li>- Findest du es hilfreich, dass du dir aussuchen konntest, ob du die Informationen aus den Texten oder den Bildern nimmst? Warum?</li></ul>
Personalization Principle	<ul style="list-style-type: none"><li>- War die Sprache im Feedback gewohnt oder ungewohnt? War die wie im Chemieunterricht?</li><li>- Hat dir die Sprache im Feedback bei der Planung des Experiments geholfen?</li></ul>
Spatial Contiguity Principle	<ul style="list-style-type: none"><li>- Findest du es hilfreich, dass die zusammengehörenden Texte und Bilder nebeneinander sind? Warum?</li></ul>
Signaling Principle	<ul style="list-style-type: none"><li>- Findest du es hilfreich, dass die Merkmale, die noch berücksichtigt werden müssen, durch einen roten Kasten hervorgehoben werden? Warum?</li></ul>
Coherence Principle	<ul style="list-style-type: none"><li>- Erklär mir doch bitte, was die Bilder darstellen.</li><li>- Findest du es hilfreich, dass die Bilder den Ablauf des Experiments darstellen? Warum?</li></ul>

### Strukturierende qualitative Inhaltsanalyse

Wie zuvor beschrieben, ist die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ein Verfahren zur systematischen Textanalyse und stellt einen empirischen Ansatz dar, das vorhandene Material nach inhaltsanalytischen Regeln auszuwerten. Für die Auswertung des Materials werden Kategorien verwendet. Im Rahmen der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse werden im Unterschied zur zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse aus Untersuchung 1 und 2 die Kategorien zuvor aus der Theorie abgeleitet und im Zuge der Analyse des Materials deduktiv angewendet. Mayring (2015) unterteilt die strukturierende qualitative Inhaltsanalyse in die formale, die inhaltliche, die typisierende und die skalierende Inhaltsanalyse. Die inhaltlich-strukturierende qualitative Inhaltsanalyse, die im Rahmen dieser Untersuchung genutzt wird, ist die am weitesten verbreitete Variante der qualitativen Inhaltsanalyse und stellt als zentrales Auswertungsinstrument das Kategoriensystem in den Vordergrund. Dieses wird in einem dreischrigen Prozess aufgestellt. Die Kategorien werden zunächst anhand der Forschungsfrage und der Richtung der Analyse festgelegt. Anschließend werden konkrete Textstellen aus dem Material als Ankerbeispiele beschrieben. Um das Kategoriensystem zu finalisieren, wird dieses um Kodierregeln ergänzt, die eine

## 7. Dritte Untersuchung

Abgrenzung zu anderen Kategorien klar definieren. Wenn nötig, kann das Kategoriensystem angepasst und das gesamte Material erneut kodiert werden. Nach abgeschlossener Kodierung des gesamten Materials folgt die Paraphrasierung und Zusammenfassung sowie die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse mit Bezug zur Forschungsfrage. Zuletzt wird die Intercoderreliabilität bestimmt (Mayring, 2015). Abbildung 23 zeigt das Ablaufmodell der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015). Die Schritte 1 bis 10 des Ablaufmodells werden im Rahmen der Ergebnisse der dritten Untersuchung ausführlich beschrieben.

## 7. Dritte Untersuchung

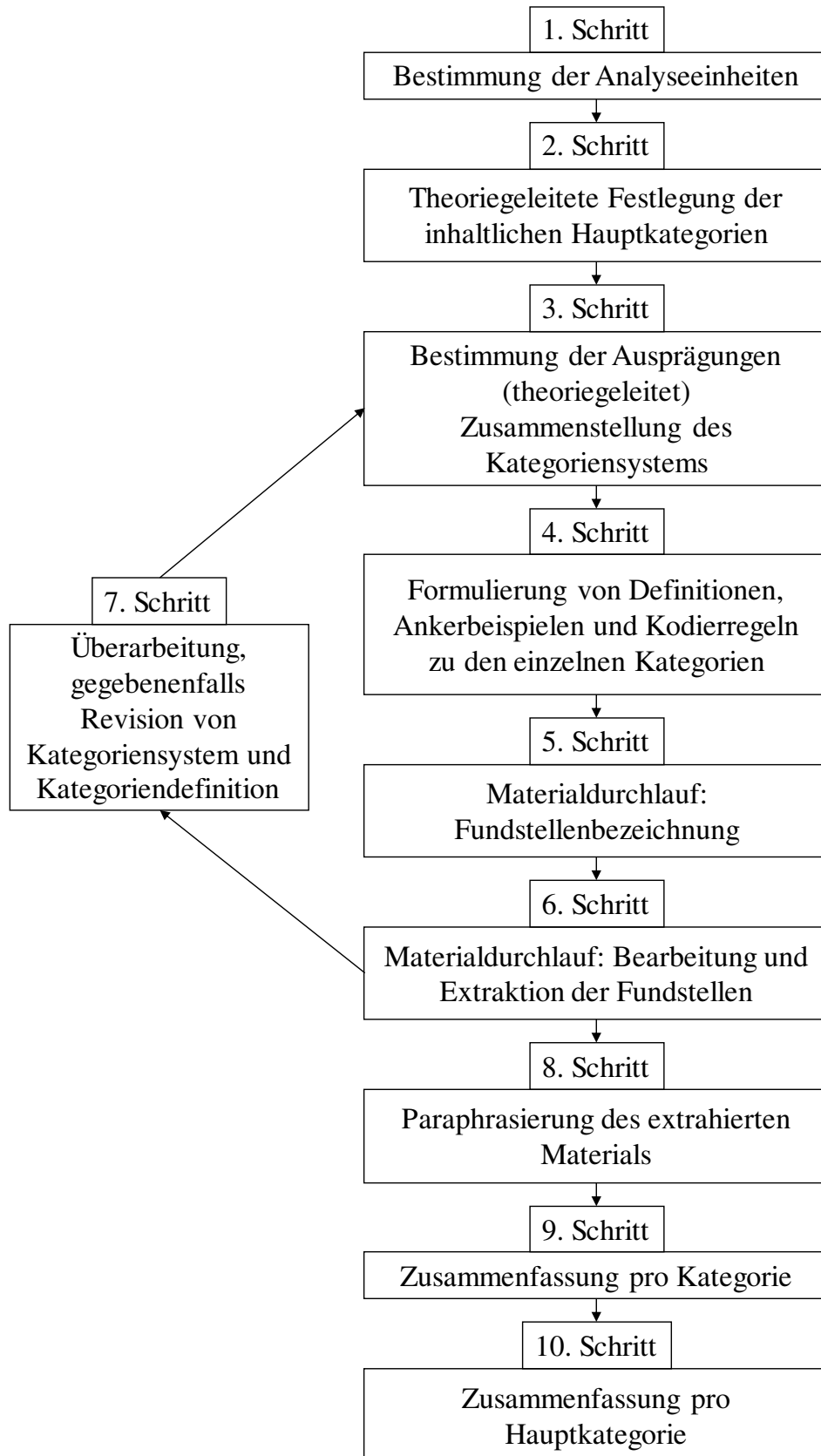


Abbildung 23: Ablaufmodell inhaltlich-strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2015)

### 7.1.6 Prüfung der Voraussetzungen

#### Pilotierung des Testinstruments „Kompetenz zum Planen eines Experiments“

Die Kompetenz zum Planen eines Experiments wird als latente Variable angesehen und in jeder der vier Subskalen über die sieben Merkmalsausprägungen in Form von Items als Indikatorvariable erhoben. Da somit eine Indikatorvariable insgesamt aus vier Items zu den vier verschiedenen Themen besteht, werden diese im Folgenden zusammengefasst.

Zunächst können das Reliabilitätsmaß Cronbachs  $\alpha$  sowie der Schwierigkeitsindex für jede Indikatorvariable berichtet werden. Anhand dieser Werte kann geschlussfolgert werden, dass Cronbachs  $\alpha$  überwiegend zu niedrig ist. Dies kann damit begründet werden, dass die Schüler:innen das Planen von Experimenten noch nicht trainiert haben und die Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie noch unbekannt sind. Anhand der Schwierigkeitsindizes ist zu erkennen, dass die Anwendung der Merkmale einer Experimentplanung, die hinter den einzelnen Items stehen, zunehmend schwieriger wird, was die Komplexität der Merkmale gut abbildet und die Vergabe von Qualitätsstufen (siehe Kapitel 5.1.5) pro geplantem Experiment eines jeden Themas (siehe Tabelle 43) rechtfertigt. Summenscores stellen hier kein aussagekräftiges Maß dar, da die unterschiedlichen Ansprüche an das Anwenden der Merkmale nicht abgedeckt werden.

Tabelle 43: Cronbach's  $\alpha$  und Schwierigkeitsindex pro Indikatorvariable

Indikatorvariable = Merkmal der Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie	Cron- bachs $\alpha$	Schwierigkeitsin- dex [%]
Überprüfung der Hypothese	.46	90%
Benennung der unabhängigen Variablen	.39	68%
Angaben zur unabhängigen Variablen	.46	88%
Benennung der abhängigen Variablen	.57	88%
Messung der abhängigen Variablen	.06	43%
Variation der unabhängigen Variablen unter An- gabe einer Messdauer	.27	43%
Konstanthalten von Störvariablen	.07	45%
Beschreibung von Kontrollversuchen		

Um die Vergleichbarkeit der vier verschiedenen Themen zu prüfen, können auch hier Cronbachs  $\alpha$  sowie der Schwierigkeitsindex herangezogen werden. Der folgenden Tabelle ist zu entnehmen, dass Cronbachs  $\alpha$  erneut für alle vier Themen in einem ähnlich niedrigen Bereich liegt, was mit dem fehlenden Training der Schüler:innen

## 7. Dritte Untersuchung

hinsichtlich dieser fachlichen Kompetenz zu begründen ist. Zudem liegt der Schwierigkeitsindex für die vier Themen in einem ähnlichen Wertebereich. Es kann geschlossen werden, dass die Themen verglichen werden dürfen. Des Weiteren wurden, wie oben beschrieben, Qualitätsstufen pro Thema verteilt, welches eine vollständige Experimentplanung darstellt. Die mittlere Qualitätsstufe pro Thema ist der nachstehenden Tabelle 44 zu entnehmen. Die Experimentplanung zum Thema Backtriebmittel kann, vor dem Hintergrund, dass es noch keine Erklärungen zu den jeweiligen Merkmalen der Experimentplanung gab, als zu leicht charakterisiert werden, und sollte überarbeitet werden. Die anderen drei Themen können unverändert in der Untersuchung eingesetzt werden.

Tabelle 44: Cronbach's  $\alpha$ , Schwierigkeitsindex und mittlere Qualitätsstufe pro Thema

Thema	Cronbachs $\alpha$	Schwierigkeitsindex [%]	Qualitätsstufe
Backtriebmittel (BT)	.39	73%	3.27
Süßigkeiten (SK)	.34	60%	2.22
Schiffchen (SC)	.39	75%	2.20
Wasser (WA)	.23	57%	2.51

Um einen Effekt des Themas auf die Aufgabenbearbeitung auszuschließen, lag das Testheft in vier verschiedenen Versionen vor, in welchen die Reihenfolge der Themen rotiert wurde. Mithilfe von Cronbachs  $\alpha$  und dem Schwierigkeitsindex können diese vier Testheftversionen analysiert werden. Da sowohl Cronbachs  $\alpha$  als auch der Schwierigkeitsindex in einem ähnlichen Wertebereich liegen, kann ein Effekt des Themas auf die Aufgabenbearbeitung ausgeschlossen werden.

Tabelle 45: Cronbachs  $\alpha$  und Schwierigkeitsindex pro Testheftversion

Testheftversion	Cronbachs $\alpha$	Schwierigkeitsindex [%]
A	.77	63%
B	.56	63%
C	.68	67%
D	.50	69%

### Konfirmatorische Faktorenanalyse

Abschließend wurde mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse in IBM® SPSS® AMOS 29 geprüft, ob ein einfaktorielles Modell vorliegt, bei welchem die sieben Indikatoren (Merkmale der Experimentplanung als Items des Testinstruments) auf einen Faktor (Kompetenz zum Planen eines Experiments) laden, da dies theoriebasiert anzunehmen ist. Als Voraussetzungen für das Berechnen einer konfirmatorischen

Faktorenanalyse wurden die Stichprobengröße, die Verteilung, die Linearität, die Kollinearität und die Anzahl von Indikatoren pro latenter Variable herangezogen. Da die Stichprobe einerseits mit  $N = 51$  für eine konfirmatorische Faktorenanalyse tendenziell zu klein ist und andererseits die Annahme der Normalverteilung verletzt ist, sind die Ergebnisse nur eingeschränkt interpretierbar. Marsh et al. (1998) schlagen eine Mindeststichprobengröße von 100 Proband:innen vor. Trotz der geringen Stichprobengröße der Pilotierung wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse berechnet, um einen tiefergehenden Eindruck des Testinstruments zu bekommen. Die weiteren oben genannten Voraussetzungen werden erfüllt, indem die Variablen in einem linearen Zusammenhang stehen, der Pearson-Korrelationskoeffizient einen Wert von .85 nicht überschreitet und ausreichend Indikatoren (mindestens drei) für die latente Variable vorliegen. Auf Grund der geringen Stichprobengröße und der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde die Maximum-Likelihood Schätzmethode gewählt, da diese robust gegenüber dieser Verletzung ist. Der exakte Modell-Fit wird mittels  $\chi^2$ -Test geprüft. Aufgrund von  $\chi^2 = 13.77$  mit  $p = .47$  kann geschlussfolgert werden, dass das Modell zu den Daten passt. Da der  $\chi^2$ -Test trotz der Verletzung der Normalverteilungsannahme und der kleinen Stichprobe nicht signifikant wird, spricht dies deutlich für das Modell (Bühner, 2021). Weiterführend wird der approximative Modell-Fit mit diversen Fit-Indizes analysiert. Hu und Bentler (1999) schlagen vor, neben dem  $\chi^2$ -Wert zwei zusätzliche Kennwerte zur Analyse des Modell-Fits zu berichten. Die standardisierte Quadratwurzel des mittleren Residuenquadrats (engl. standardized root mean square residual, kurz: SRMR) sollte durch die Quadratwurzel des mittleren Approximationsfehlerquadrats (engl. root mean square error of approximation, kurz: RMSEA) ergänzt werden. Da diese beiden Fit-Indizes bei kleinen Stichproben ( $N < 250$ ) zu streng sind und oft eigentlich richtige Modelle verwerfen, sollte zusätzlich der komparative Anpassungsindex (engl. comparative fit index, kurz: CFI) betrachtet werden. Für einen ausreichenden Modell-Fit sollte der SRMR  $< .11$ , der RMSEA  $< .06$  und der CFI  $> .95$  sein. Für dieses Modell weist der SRMR einen Wert von .078, der RMSEA einen Wert von .000 und der CFI einen Wert von 1.00 auf. Somit kann der approximative Modell-Fit als zufriedenstellend charakterisiert werden (Hu & Bentler, 1999). Die sieben Indikatoren laden alle auf einen Faktor. Dies erlaubt das Berechnen von Cronbachs  $\alpha$  für das gesamte Testinstrument mit  $\alpha = .66$ . Abschließend können noch die Faktorladungen betrachtet werden, welche über .70 liegen sollten (Hu & Bentler, 1999). Es ist festzuhalten, dass diese für die Indikatoren „Angaben zur unabhängigen Variablen“, „Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer“, „Konstant halten von Störvariablen“ und „Beschreibung von Kontrollversuchen“ zu niedrig sind. Diese Indikatoren repräsentieren die schwierigen

## 7. Dritte Untersuchung

Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie. Eingeschränkte fachliche Kompetenzen aufgrund fehlenden Trainings führen möglicherweise zu einem inkorrekten oder keinem Anwenden dieser Merkmale.

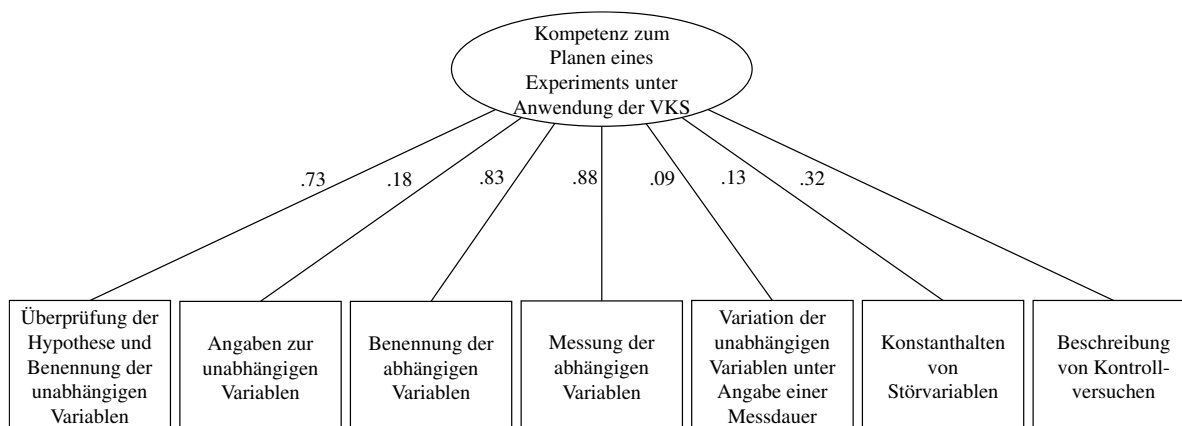


Abbildung 24: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen

### Voraussetzungen

Die Prüfung der Voraussetzung für das Berechnen parametrischer Tests ergab, dass der Datensatz zu den kognitiven Fähigkeiten, dem Fachwissen und dem Wissen über die Variablenkontrollstrategie die Voraussetzung der Normalverteilung nicht erfüllt. Da an der Datenerhebung Schüler:innen lediglich einer Schulform teilgenommen haben, ist dies nicht unüblich. Im Folgenden werden diese Datensätze trotzdem mittels parametrischer Tests analysiert, da bspw. die ANOVA robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung ist. Es gilt, dass mindestens fünfzehn Versuchspersonen pro Untersuchungsgruppe, wenn zwei bis neun Gruppen verglichen werden, gegeben sein müssen, damit auch bei einem nicht normalverteilten Datensatz dieser Test herangezogen werden darf (Blanca et al., 2017; Glass et al., 1972; Lix et al., 1996; Schmider et al., 2010).

### 7.2 Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Kontrollvariablen (Fachwissen, kognitive Fähigkeiten, Wissen über die Variablenkontrollstrategie) dargestellt. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse zur Qualität der Experimentplanung sowie zur Ausprägung des Cognitive Load und der Kompetenz zum Planen eines Experiments dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der Interviews berichtet.



### 7.2.1 Kontrollvariablen

Anhand der Kontrollvariablen Fachwissen, kognitive Fähigkeiten und Wissen über die Variablenkontrollstrategie soll zunächst mittels deskriptiver Kennwerte ein allgemeiner Eindruck über die gesamte Stichprobe erlangt werden. Die statistischen Kennwerte zeigen keine Auffälligkeiten (siehe Tabelle 46).

Tabelle 46: Deskriptive Statistik der Kontrollvariablen der dritten Untersuchung

Variable	Statistische Kennwerte					
	Gesamtpunktzahl	Min	Max	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>
Fachwissen	19	2	17	9.10	9	3.53
Kognitive Fähigkeiten	25	3	25	15.10	16	6.02
Variablenkontrollstrategie	13	1	11	5.28	5	2.50

Mithilfe einer univariaten Varianzanalyse wurden die Ausgangsbedingungen der Schüler:innen in den vier verschiedenen Testheften analysiert, um sicherzustellen, dass für folgende Analysen alle Datensätze gemeinsam analysiert werden können. Es kann festgehalten werden, dass die Schüler:innen der vier Testhefte keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der drei Kontrollvariablen aufweisen und miteinander verglichen werden dürfen (Fachwissen:  $F(3,174) = 2.19$ ,  $p = .09$ ,  $\eta^2 = .04$ ; Kognitive Fähigkeiten:  $F(3,174) = .99$ ,  $p = .34$ ,  $\eta^2 = .02$ ; Variablenkontrollstrategie:  $F(3,172) = .33$ ,  $p = .81$ ,  $\eta^2 = .02$ ).

### 7.2.2 Qualität der Experimentplanung

Die Qualität der neu geschriebenen Experimentplanung mithilfe des simulierten Text-Bild Feedbacks wird mit der erreichten Punktzahl und der erreichten Qualitätsstufe (siehe Kapitel 5.1.5) ermittelt. Für die Berechnung der erreichten Punkte werden lediglich die Kategorien 1 bis 8 herangezogen, da das Feedback dazu Informationen rückmeldet. Somit sind hier maximal 16 Punkte zu erreichen. Zudem kann die Experimentplanung eine Qualität zwischen den Stufen 1 bis 5 annehmen. Die Schüler:innen erreichen bei der Experimentplanung mithilfe des Feedbacks im Mittel 13 von 16 Punkten und die Qualitätsstufe 4 von 5.

Das gestapelte Säulendiagramm in Abbildung 25 zeigt, dass fast 60 % der neu geschriebenen Experimentplanungen der Schüler:innen mit einer Qualitätsstufe von vier oder fünf bewertet wurden. Weniger als 20 % der neu geschriebenen Experimentplanungen der Schüler:innen wurden mit einer Qualitätsstufe von eins oder zwei bewertet. Zudem erreicht ein großer Teil die Qualitätsstufe drei in den neu geschriebenen Experimentplanungen.

## 7. Dritte Untersuchung

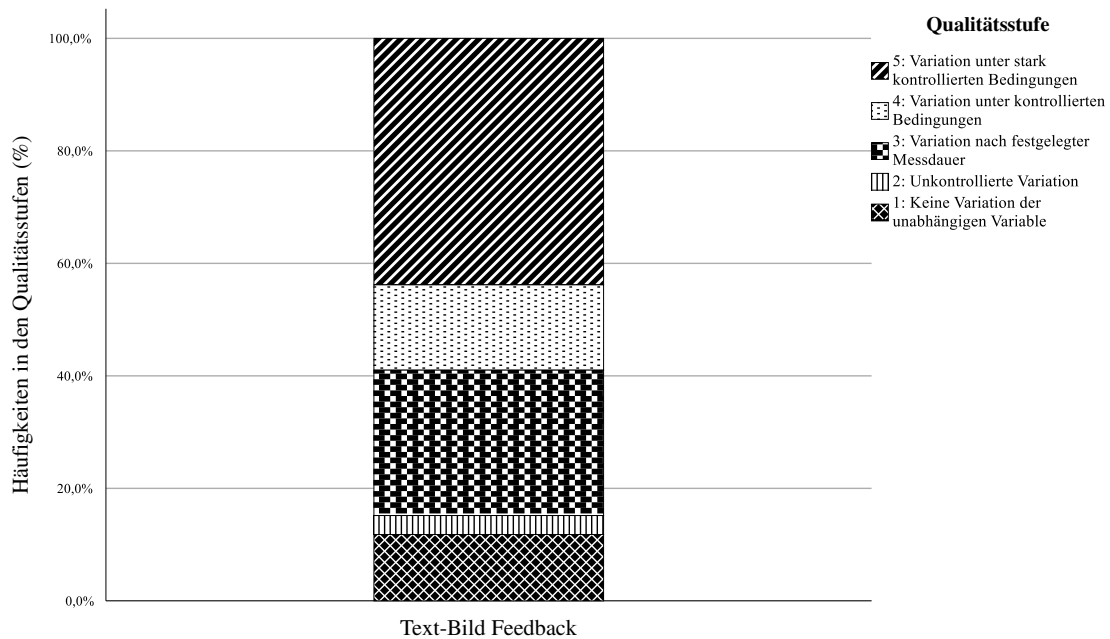


Abbildung 25: Gestapeltes Säulendiagramm der erreichten Qualitätsstufen in der neu geschriebenen Experimentplanung der dritten Untersuchung

Des Weiteren wurde eine multiple lineare Regression herangezogen, um zu überprüfen, ob das Fachwissen, die kognitiven Fähigkeiten und das Wissen über die Variablenkontrollstrategie Prädiktoren für die Qualität der Experimentplanung sind. Das Fachwissen und die kognitiven Fähigkeiten stellen sich als signifikante Prädiktoren heraus, um die Qualität der Experimentplanung hervorzusagen ( $F(3, 175) = 8.17$ ,  $p < .001$ ). Das Wissen über die Variablenkontrollstrategie ist kein signifikanter Prädiktor. Das Modell hat mit einem  $R^2 = .12$  eine moderate Anpassungsgüte (Cohen, 1988b)

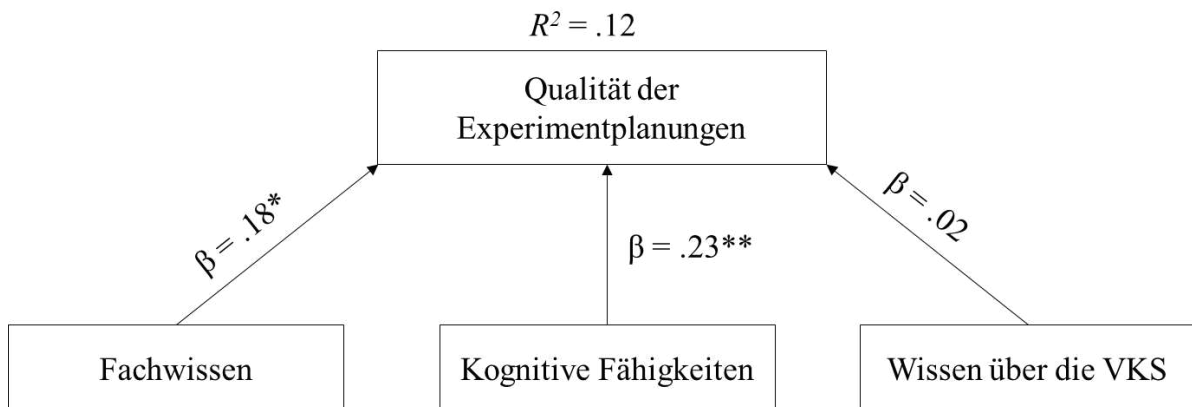


Abbildung 26: Multiple lineare Regression zum Einfluss von Fachwissen, kognitiven Fähigkeiten und Wissen über die Variablenkontrollstrategie auf die Qualität der Experimentplanung der dritten Untersuchung

### 7.2.3 Ausprägung des Cognitive Load

Der Cognitive Load wird erneut anhand der Items zur wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und zur investierten Denkanstrengung gemessen. Es wurde die univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Analyse der Ausprägung der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und der investierten Denkanstrengung im Verlauf der Lerngelegenheit eingesetzt (FF3a). Die investierte Denkanstrengung zu den drei Messzeitpunkten stellt den Innersubjektfaktor dar. Die investierte Denkanstrengung sinkt über die drei Messzeitpunkte hinweg ( $M_1 = 2.16$ ,  $SD_1 = .98$ ;  $M_2 = 1.87$ ,  $SD_2 = .97$ ;  $M_3 = 1.85$ ,  $SD_3 = .92$ ) und die Sphärizität der Daten ist gegeben (Mauchly-Test  $p = .51$ ). Die univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass sich die investierte Denkanstrengung zu den drei Messzeitpunkten statistisch signifikant unterscheidet ( $F(2,352) = 9.49$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .05$ ). Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied in der investierten Denkanstrengung zwischen Messzeitpunkt eins und zwei ( $M_{\text{Diff}} = .29$ , 95%-KI [.11, .47],  $p < .001$ ) sowie eins und drei auf ( $M_{\text{Diff}} = .30$ , 95%-KI [.11, .50],  $p < .001$ ).

Auch die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit zu den drei Messzeitpunkten stellt den Innersubjektfaktor dar. Die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit sinkt über die drei Messzeitpunkte hinweg ( $M_1 = 2.07$ ,  $SD_1 = .07$ ;  $M_2 = 1.84$ ,  $SD_2 = .07$ ;  $M_3 = 1.83$ ,  $SD_3 = .06$ ) und die Sphärizität der Daten ist gegeben (Mauchly-Test  $p = .47$ ). Die univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass sich die wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit zu den drei Messzeitpunkten statistisch signifikant unterscheidet ( $F(2,354) = 6.22$ ,  $p = .002$ ,  $\eta^2 = .03$ ). Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied in der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit zwischen Messzeitpunkt eins und zwei ( $M_{\text{Diff}} = .23$ , 95% KI [.05, .41],  $p = .006$ ) sowie zwischen eins und drei auf ( $M_{\text{Diff}} = .24$ , 95%-KI [.04, .43],  $p = .01$ ).

## 7. Dritte Untersuchung

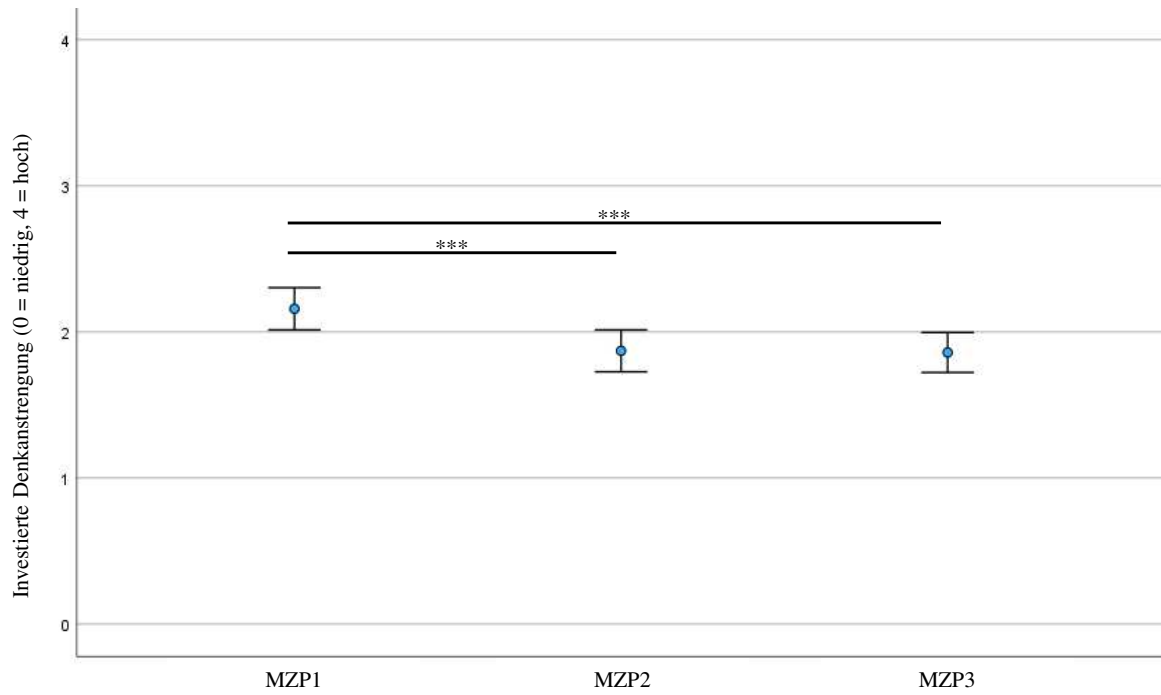


Abbildung 27: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung der Ausprägung des Cognitive Load gemessen an der investierte Denkanstrengung der dritten Untersuchung (95% KI)

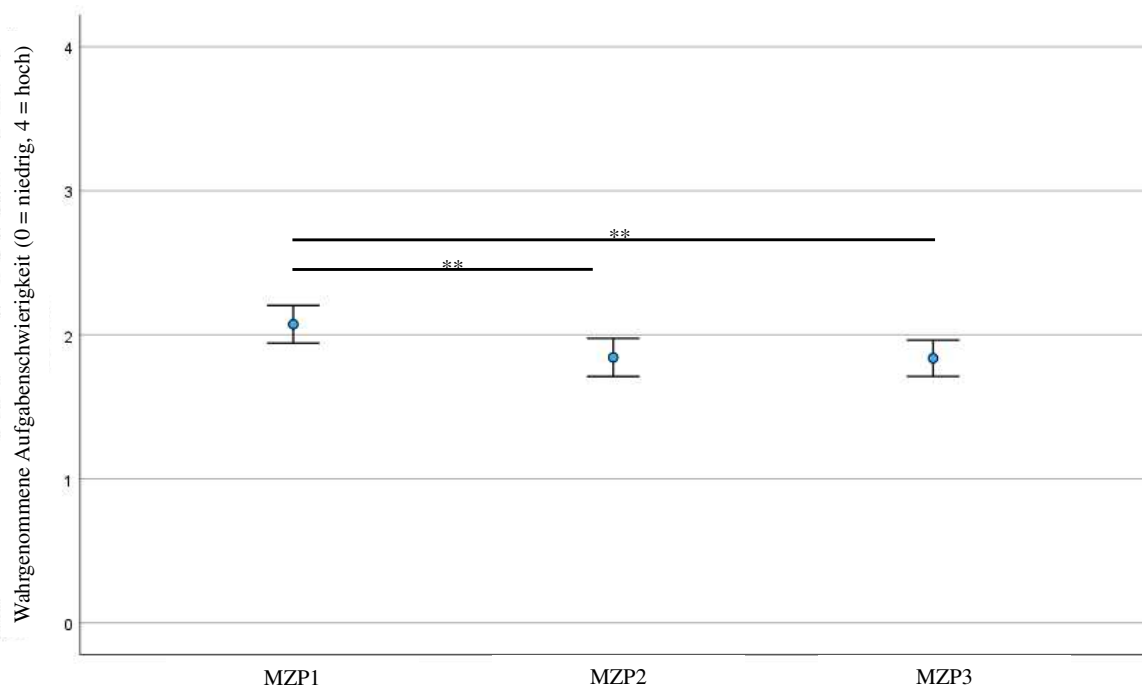


Abbildung 28: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung der Ausprägung des Cognitive Load gemessen an der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit der dritten Untersuchung (95% KI)

### 7.2.4 Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments

Um die Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie zu messen, wurde das in Kapitel 7.1.3 vorgestellte Testinstrument eingesetzt. Das Testinstrument besteht aus vier Aufgaben zu unterschiedlichen Themen mit jeweils sieben Items. Zunächst wurden Cronbachs  $\alpha$  und der Schwierigkeitsindex herangezogen, um den Effekt des Themas auf die Aufgabenbearbeitung zu analysieren. Anschließend wurde zu allen vier Messzeitpunkten mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse geprüft, ob sich das aus den Daten der Pilotierung ergebende einfaktorielle Modell mit dem vorliegenden Datensatz bestätigt. Anschließend wurde mittels ANOVA mit Messwiederholung geprüft, wie die Kompetenz zum Planen eines Experiments im Verlauf der Lerngelegenheit ausgeprägt ist.

Um einen Effekt des Themas auf die Aufgabenbearbeitung auszuschließen, lag das Testheft in vier verschiedenen Versionen vor, in welchen die Reihenfolge der Themen rotiert wurde. Mithilfe von Cronbachs  $\alpha$  und dem Schwierigkeitsindex können diese vier Testheftversionen analysiert werden. Der nachstehenden Tabelle 47 ist zu entnehmen, dass mit Ausnahme von Testheftversion B Cronbachs  $\alpha$  in einem ähnlichen Wertebereich liegt. Der Schwierigkeitsindex hingegen liegt für alle vier Testheftversionen in einem ähnlichen Wertebereich. Zunächst kann ein Effekt des Themas auf die Aufgabenbearbeitung ausgeschlossen werden.

Tabelle 47: Cronbachs  $\alpha$  und Schwierigkeitsindex pro Testheftversion der dritten Untersuchung

Testheftversion	Cronbachs $\alpha$	Schwierigkeitsindex [%]
A	.73	70%
B	.33	72%
C	.72	71%
D	.68	69%

Mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse in IBM® SPSS® AMOS 29 wurde geprüft, ob ein einfaktorielles Modell vorliegt, bei welchem die sieben Indikatoren (Merkmale der Experimentplanung als Items des Testinstruments) auf einen Faktor (Kompetenz zum Planen eines Experiments) laden, da dies basierend auf theoretischen Annahmen und den Ergebnissen der Pilotierungsstudie wahrscheinlich ist.

Als Voraussetzungen für das Berechnen einer konfirmatorischen Faktorenanalyse wurden die Stichprobengröße, die Verteilung, die Linearität, die Kollinearität und die Anzahl von Indikatoren pro latenter Variable herangezogen. Die Stichprobengröße von  $N = 178$  kann als angemessen eingeschätzt werden und liegt oberhalb des von Marsh et al. (1998) vorgeschlagenen Grenzwertes von 100 Proband:innen. Jedoch

## 7. Dritte Untersuchung

wird die Normalverteilungsannahme verletzt. Die weiteren oben genannten Voraussetzungen werden erfüllt, indem die Variablen in einem linearen Zusammenhang stehen, der Pearson-Korrelationskoeffizient einen Wert von .85 nicht überschreitet und ausreichend Indikatoren (mindestens drei) für die latente Variable vorliegen.

Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde die Maximum-Likelihood Schätzmethode gewählt, da diese robust gegenüber dieser Verletzung ist. Der exakte Modell-Fit wird mittels  $\chi^2$ -Test geprüft. Weiterführend wird der approximative Modell-Fit mit diversen Fit-Indizes analysiert. Hu und Bentler (1999) schlagen vor, neben dem  $\chi^2$ -Wert zwei zusätzliche Kennwerte zur Analyse des Modell-Fits zu berichten. Die standardisierte Quadratwurzel des mittleren Residuenquadrats (engl. standardized root mean square residual, kurz: SRMR) sollte durch die Quadratwurzel des mittleren Approximationsfehlerquadrats (engl. root mean square error of approximation, kurz: RMSEA) ergänzt werden. Da diese beiden Fit-Indizes bei kleinen Stichproben ( $N < 250$ ) zu streng sind, und oft eigentlich richtige Modelle verwerfen, sollte zusätzlich der komparative Anpassungsindex (engl. comparative fit index, kurz: CFI) betrachtet werden. Für einen ausreichenden Modell-Fit sollte der SRMR  $< .11$ , der RMSEA  $< .06$  und der CFI  $> .95$  sein.

Tabelle 48: Statistische Kennwerte der konfirmatorischen Faktorenanalyse der dritten Untersuchung

Messzeitpunkt	$\chi^2$	SRMR	RMSEA	CFI
1	10.09, $p = .75$	.06	.00	1.00
2	23.80, $p = .06$	.07	.01	.95
3	19.30, $p = .15$	.06	.09	.97
4	22.90, $p = .06$	.08	.01	.94

Da der  $\chi^2$ -Test trotz der Verletzung der Normalverteilungsannahme nicht signifikant wird, spricht dies deutlich für das Modell (Bühner, 2021). Zusätzlich kann der approximative Modell-Fit anhand der Werte für SRMR, RMSEA und CFI als zufriedenstellend charakterisiert werden (Hu & Bentler, 1999). Die sieben Indikatoren laden alle zu jedem der vier Messzeitpunkte auf einen Faktor. Dies erlaubt das Berechnen von Cronbachs  $\alpha$  für das Testinstrument pro Messzeitpunkt mit  $\alpha_1 = .78$ ,  $\alpha_2 = .83$ ,  $\alpha_3 = .83$ ,  $\alpha_4 = .78$ . Abschließend können noch die Faktorladungen betrachtet werden, welche über .70 liegen sollten (Hu & Bentler, 1999).

## 7. Dritte Untersuchung

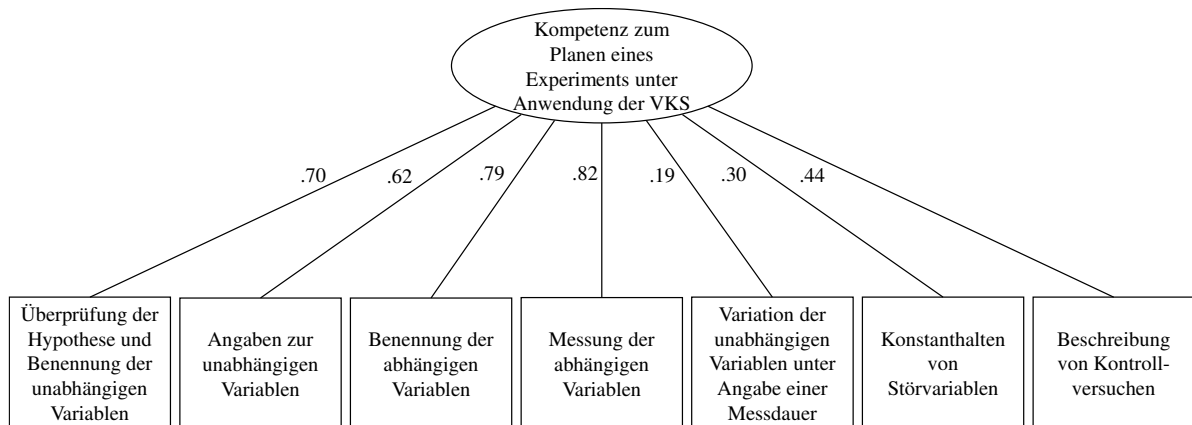


Abbildung 29: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 0 der dritten Untersuchung

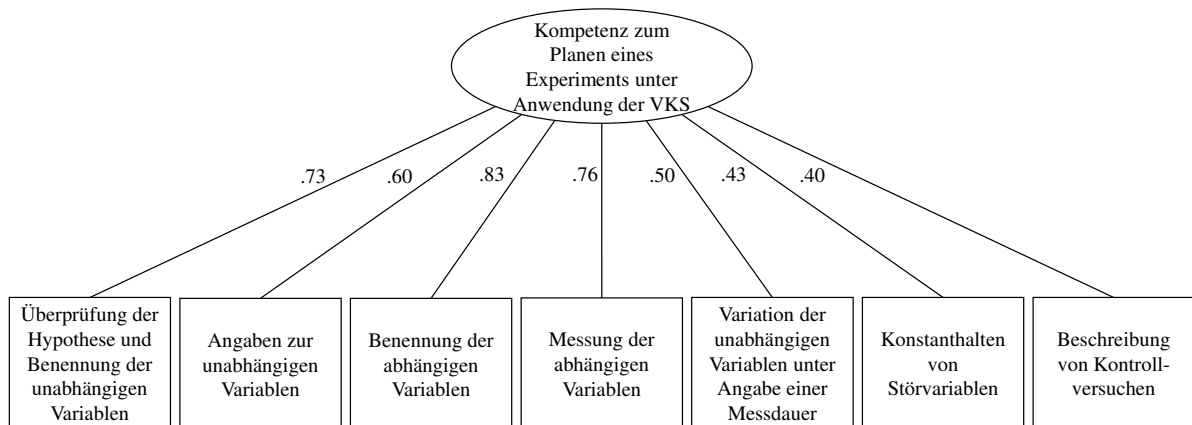


Abbildung 30: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 1 der dritten Untersuchung

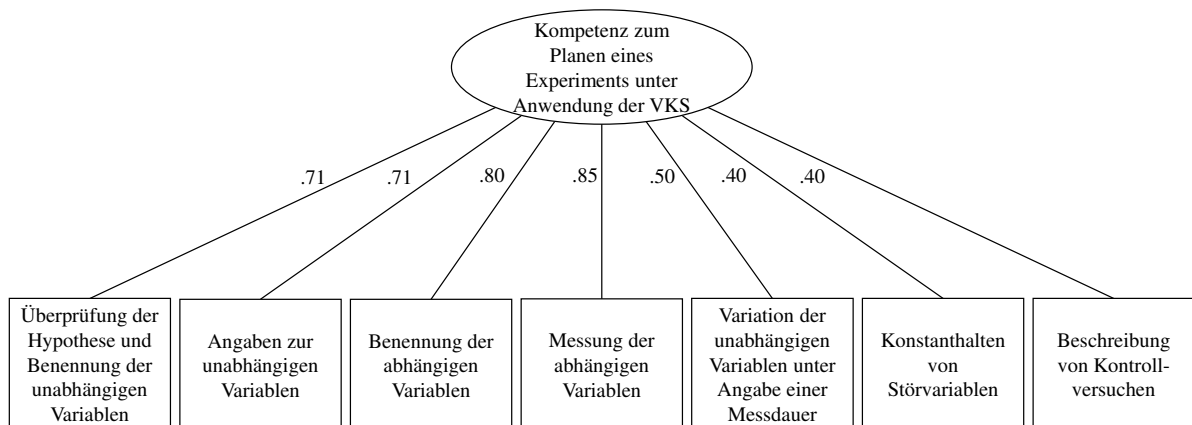


Abbildung 31: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 2 der dritten Untersuchung

## 7. Dritte Untersuchung

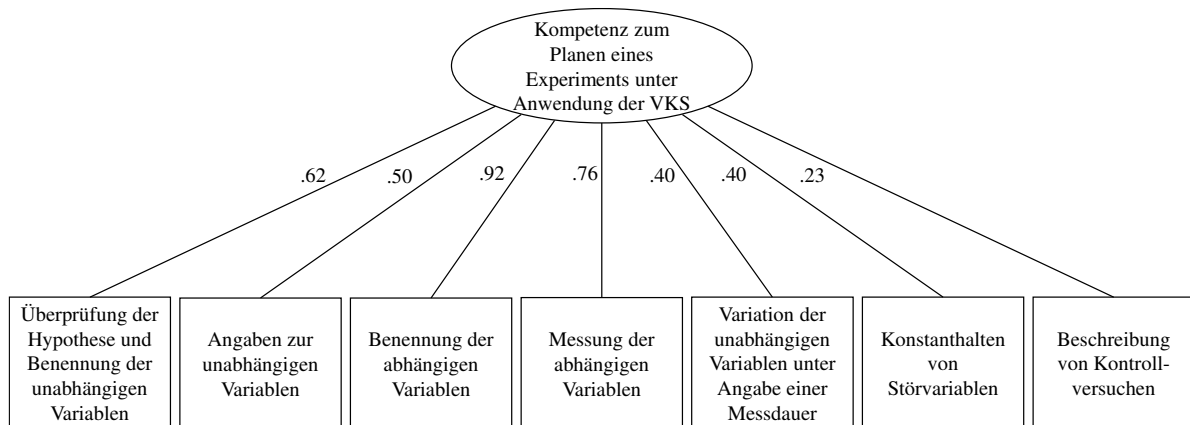


Abbildung 32: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 3 der dritten Untersuchung

Es ist festzuhalten, dass die Faktorladungen vor allem für die Indikatoren „Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer“, „Konstant halten von Störvariablen“ und „Beschreibung von Kontrollversuchen“ zu niedrig sind. Diese Indikatoren repräsentieren die schwierigen Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie und können durch eingeschränkte fachliche Kompetenzen aufgrund fehlenden Trainings begründet werden.

Die univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde für die Analyse der Ausprägung der Kompetenz zum Planen eines Experiments im Verlauf der Lerngelegenheit und der Beantwortung von Forschungsfrage 3a eingesetzt. Da Summenscores die unterschiedlichen Ansprüche an das Anwenden der Merkmale der Experimentplanung nicht abdecken, stellen diese kein aussagekräftiges Maß für das Erfassen der Kompetenz zum Planen eines Experiments dar. Somit wird die erreichte Qualitätsstufe für jedes Experiment pro Messzeitpunkt vergeben. Die Qualitätsstufe zu den vier Messzeitpunkten stellt den Innersubjektfaktor dar. Die Qualitätsstufe steigt über die vier Messzeitpunkte hinweg an ( $M_1 = 2.7$ ,  $SD_1 = 1.33$ ;  $M_2 = 2.9$ ,  $SD_2 = 1.13$ ;  $M_3 = 3.0$ ,  $SD_3 = 1.17$ ;  $M_4 = 3.2$ ,  $SD_4 = 1.28$ ) und die Sphärizität der Daten ist gegeben (Mauchly-Test  $p = .86$ ). Die univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass sich die durchschnittliche Qualitätsstufe der Experimentplanung statistisch signifikant unterscheidet ( $F(3,528) = 4.12$ ,  $p = .006$ ,  $\eta^2 = .02$ ). Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied in der Qualitätsstufe zwischen Messzeitpunkt null und drei auf ( $M_{\text{Diff}} = -.46$ , 95%-KI  $[-.82, -.09]$ ,  $p = .006$ ).



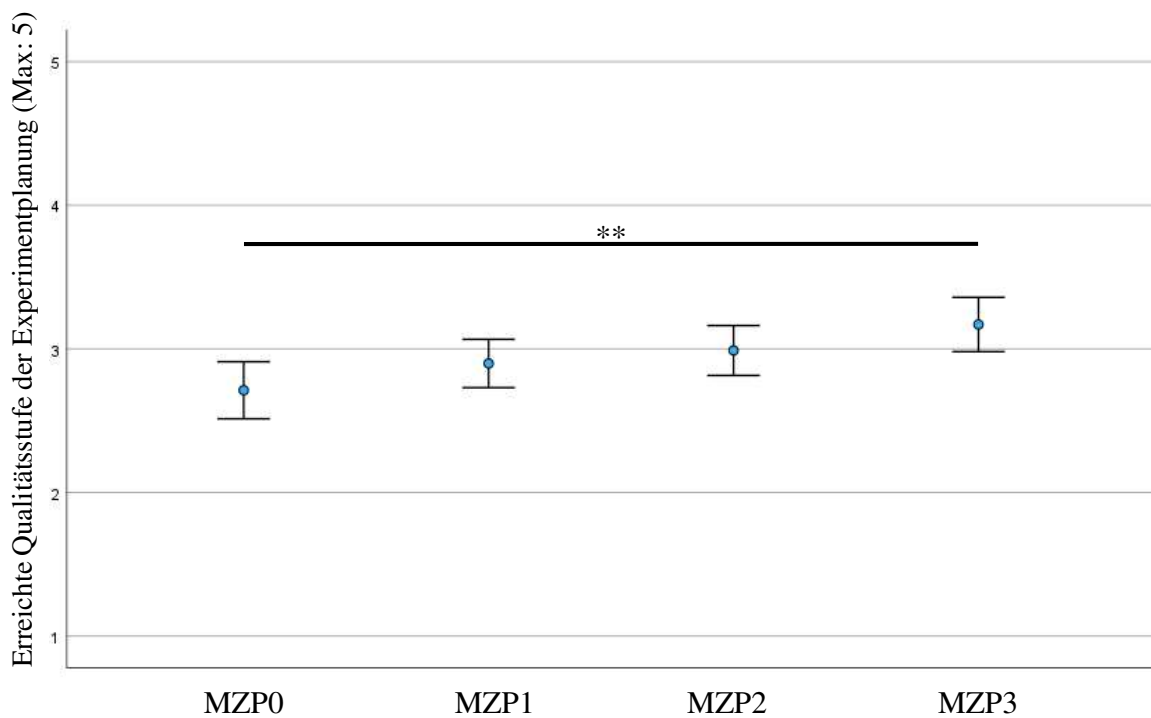


Abbildung 33: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung der Ausprägung der Planungskompetenz gemessen an der Qualitätsstufe der dritten Untersuchung (95% KI)

Um das Auftreten eines Retest-Effektes bei der wiederholten Bearbeitung der vier Subskalen zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie auszuschließen, wurde ein Vergleich mit den Daten der Pilotierungsstudie vorgenommen. Der Retest-Effekt beschreibt den Anstieg der Testergebnisse aufgrund der wiederholten Bearbeitung einer Aufgabe, was sich durch einen Anstieg im erreichten Summenscore auszeichnen würde. Unterscheiden sich die Summenscores zu den vier Messzeitpunkten zwischen den Untersuchungsgruppen aus Pilotierungsstudie und Untersuchung 3 nicht signifikant, kann ein Retest-Effekt ausgeschlossen werden. Um dies zu überprüfen wurde eine gemischte ANOVA herangezogen. Die Summe der erreichten Punkte pro Subskala zum jeweiligen Messzeitpunkt stellt den Innersubjektfaktor (Zeit) dar. Die Gruppenzugehörigkeit (Pilotierungsstudie vs. Untersuchung 3) stellt den Zwischensubjektfaktor dar. Für die Untersuchung des Retest-Effektes ist lediglich der Interaktionseffekt von Bedeutung, da dieser beschreibt, ob sich der Innersubjektfaktor in Abhängigkeit vom Zwischensubjektfaktor verändert. Die Analyse ergibt, dass es keine signifikante Interaktion zwischen der Zeit und der Gruppe gibt und das Auftreten eines Retest-Effektes ausgeschlossen werden kann (Mauchly-Test  $p < .001$ ; Greenhouse-Geisser:  $F(2.59, 583.43) = .05, p = .97$ ; Huynh-Feldt:  $F(2.64, 593.46) = .05, p = .98$ ).

### 7.2.5 Ableitung des Kategoriensystems und das daraus entstandene Kodiermanual für die Interviews

In der vorliegenden Untersuchung wurden Leitfadeninterviews, orientiert an der Methode der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse, ausgewertet. Ziel der Analyse war es, entsprechend der Forschungsfragen 3b und 3c, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welche Merkmale einer variablenkontrollierten Experimentplanung nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback reflektiert angewendet werden und welche Gestaltungsprinzipien der CTML dazu führen, dass die Informationspräsentation des Lernstands und der nächsten Schritte des Feedbacks als hilfreich eingeschätzt werden. Dies dient dazu, das entwickelte und in Untersuchung 2 evaluierte Text-Bild Feedback hinsichtlich der Effektivität der dargestellten Lernziele und der Informationspräsentation des Lernstands und der nächsten Schritte tiefergehend zu analysieren. Für die Analyse liegen 15 Interviewtranskripte vor, welche aus Leitfadeninterviews mit Schüler:innen der 9. Klasse generiert wurden. Die Auswertung wird getrennt nach Schüler:innen mit viel ( $\Sigma_{FW} \geq 10$ ;  $n_{vFW} = 7$ ) und wenig Fachwissen ( $\Sigma_{FW} < 10$ ;  $n_{wFW} = 8$ ) vorgenommen, da sich das Fachwissen als signifikanter Prädiktor für die Qualität von Experimentplanungen herausgestellt hat (siehe Kapitel 6.2.2). Die erreichte Punktzahl im Fachwissenstest (Max = 19), im Test zur Variablenkontrollstrategie (Max = 13), im Test zu den Kognitiven Fähigkeiten (Max = 25) sowie die erreichte Qualitätsstufe (1 bis 5) in der feedbackgestützten schriftlichen Experimentplanung der interviewten Schüler:innen ist der nachstehenden Tabelle 49 zu entnehmen. Es ist zu erkennen, dass die Mehrheit der Schüler:innen wenige Punkte im Test zum Wissen über die Variablenkontrollstrategie erreichen. Lediglich drei Schüler:innen erreichen mehr als die Hälfte der Punkte. Im Test zu den kognitiven Fähigkeiten schneiden die Schüler:innen deutlich besser ab. Mit Ausnahme von drei Schüler:innen wurde die feedbackgestützt geschriebene Experimentplanung mit Qualitätsstufe drei oder höher bewertet.

## 7. Dritte Untersuchung

Tabelle 49: Statistische Kennwerte der Testinstrumente der Kontrollvariablen sowie der schriftlichen Experimentplanung der Teilnehmenden des Interviews der dritten Untersuchung

Interview Nr.	Erreichte Punktzahl			Qualitätsstufe Experimentplanung
	Fachwissen	Variablen- kontrollstrategie	Kognitive Fähigkeiten	
1	3	3	14	4
2	3	5	23	4
3	5	2	22	3
4	6	4	14	5
5	6	5	13	1
6	7	4	10	4
7	8	9	18	1
8	9	3	11	3
9	12	3	16	3
10	12	5	19	5
11	13	7	18	5
12	13	5	18	5
13	13	8	17	5
14	14	4	15	4
15	16	4	24	2

Anhand der 10 Schritte des Ablaufmodells der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse wird die Auswertung beschrieben (siehe Abbildung 23). Als Analyseeinheit wurden die Transkriptpassagen bzw. Fundstellen gewählt, die sich inhaltlich mit der Themenstellung einer jeweiligen Kategorie befassen. Als kleinstmöglicher Textbestandteil (Kodiereinheit) wurden einzelne Sätze in die Analyse einbezogen. Als größtmöglicher Textbestandteil (Kontexteinheit) unter Umständen auch mehrere aufeinander folgende Absätze. Die Interviewtranskripte wurden nacheinander in die Analyse einbezogen (Auswertungseinheit) (1. Schritt). Zunächst wurden basierend auf den beiden Forschungsfragen und des gegenwärtigen Forschungsstandes inklusive der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Untersuchungen des Projektes deduktiv die folgenden dreizehn Hauptkategorien (Hauptcodes) für die Auswertung festgelegt: Überprüfung der Hypothese (K1), Benennung der unabhängigen Variablen (K2), Maßangaben zur unabhängigen Variablen (K3), Benennung der abhängige Variablen (K4), Messung der abhängigen Variablen (K5), Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer (K6), Konstanthalten von Störvariablen (K7), Beschreibung von Kontrollversuchen (K8), Multimedia Principle (K9), Personalization Principle (10), Spatial Contiguity Principle (K11), Signaling Principle (K12), Coherence Principle (K13) (2. Schritt). Die Hauptkategorien 1 bis 8 beziehen sich auf die Merkmale einer Experimentplanung unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Arnold,

## 7. Dritte Untersuchung

2015; Arnold et al., 2014; Scheuermann, 2017). Mithilfe dieser Merkmale wurden bereits die Experimentplanungen bewertet und das Feedback ausgestellt (siehe Tabelle 3 und Tabelle 5). Es soll nun analysiert werden, welche dieser Merkmale nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback reflektiert angewendet werden können. Die Hauptkategorien 9 bis 13 beziehen sich auf die Gestaltungsprinzipien der CTML (Mayer, 2001, 2005, 2009, 2014). Basierend auf diesen Prinzipien wurden der Lernstand und die nächsten Schritte des Text-Bild Feedbacks gestaltet. Anhand dieser Hauptkategorien soll analysiert werden, welche Gestaltungsprinzipien dazu führen, dass die Informationspräsentation des Lernstands und der nächsten Schritte des Feedbacks als hilfreich eingeschätzt werden. Für die Hauptkategorien wurden theoriegeleitet Ausprägungen (Subcodes) bestimmt und alle Codes in ein gemeinsames Kategoriensystem überführt. Pro Hauptkategorie gibt es drei Ausprägungen (3. Schritt). Die Ausprägungen für die Hauptkategorien zur Reflexion der Variablenkontrollstrategie sind ebenfalls aus dem Kategoriensystem für die Bewertung schriftlicher Experimentplanungen entstanden. Es wird zwischen einer vollständigen, einer teilweisen und keiner Reflexion unterschieden. Die Aussagen der Schüler:innen hinsichtlich der Gestaltungsprinzipien der CTML werden danach kodiert, wie hilfreich bzw. nicht hilfreich diese Prinzipien bewertet werden. Hierzu wird zwischen hilfreichen, teilweise hilfreichen und nicht hilfreichen Prinzipien unterschieden. Für jede Hauptkategorie werden Definitionen formuliert, was unter einer jeden Kategorie zu verstehen ist, und zum besseren Verständnis zusätzlich mit Ankerbeispielen versehen. Für ein eindeutiges Kodieren werden zusätzlich Kodierregeln festgelegt (4. Schritt). Es erfolgte ein erster Test-Materialdurchlauf durch die Hälfte des Materials, wobei Fundstellenbezeichnungen mit Hilfe der Software MAXQDA2022 vorgenommen wurden (5. Schritt). Hierbei wurde das vorhandene Material bearbeitet bzw. kodiert und anschließend eine Zusammenstellung der Codings pro Subcode vorgenommen (Extraktion) (6. Schritt). Das Kategoriensystem wurde induktiv überarbeitet (7. Schritt). Anschließend wurde der Haupt-Materialdurchlauf vorgenommen. Das finale Kategoriensystem des Haupt-Materialdurchlaufs ist dem Anhang zu entnehmen. Das extrahierte Material wurde paraphrasiert, indem Zusammenfassungen der Codings pro Subcode über alle Interviewtranskripte vorgenommen wurden (8. Schritt). Auf die Zusammenfassung pro Kategorie (9. Schritt) und Hauptkategorie (10. Schritt) wird verzichtet, da jede Hauptkategorie für jeden Interviewteilnehmenden kodiert wird. Abschließend wurde als inhaltsanalytisches Gütekriterium die Intercoderreliabilität mit dem Maß Kappa gemäß Formel 2 aus Kapitel 5.1.7 berechnet, welches mit  $\kappa = .91$  als sehr starke Übereinstimmung charakterisiert werden kann.

### 7.2.6 Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse

Nachfolgend werden die dreizehn Hauptkategorien genauer beschrieben. Es wird beispielhaft angegeben, welche Aussagen in den Interviews zu den einzelnen Subkategorien kodiert wurden und wie diese inhaltlich zu der jeweiligen Kategorie zugehörig sind. Zudem wird erläutert, was im Rahmen einer vollständigen Reflexion eines Merkmals der Variablenkontrollstrategie benannt werden muss und welche Begründungen für die Einschätzung eines Gestaltungsmerkmals der CTML als hilfreich genannt wurde.

#### **Kategorie 1: Überprüfung der Hypothese und Kategorie 2: Benennung der unabhängigen Variablen**

Die Kategorien 1 und 2 enthalten Aussagen zur Art und Weise der Überprüfung der Hypothese im Rahmen des schriftlich geplanten Experiments. Die Schüler:innen sollen benennen, dass ein Unterschied der Leitfähigkeit untersucht werden soll, indem eine Kochsalz- und eine Zuckerlösung miteinander verglichen werden. Nur wenn dieser Vergleich der beiden Lösungen hinsichtlich der Stoffeigenschaft der elektrischen Leitfähigkeit stattfindet, wird die Hypothese vollständig überprüft und die unabhängigen Variablen benannt. Durch Aussagen wie „Damit man weiß, ob Salz oder Zucker leitfähiger ist.“ oder „Das [die elektrische Leitfähigkeit] wurde in dem Experiment mit Zucker und Salz verglichen.“ ist von einer vollständigen Reflexion auszugehen.

#### **Kategorie 3: Maßangaben zur unabhängigen Variablen**

Die Kategorie 3 enthält Aussagen zur Art und Weise des Herstellens der Kochsalz- und der Zuckerlösung. Es soll reflektiert werden, dass für das Herstellen der Lösungen genaue Maßangaben für das Abwiegen von Kochsalz und Zucker festgelegt werden und diese Angaben für beide Stoffe gleichzuhalten sind, um vergleichbare Experimentbedingungen zu schaffen. Nur wenn die Lösungen auf die gleiche Art und Weise hergestellt werden, kann von vergleichbaren Experimentbedingungen ausgegangen werden. Schüler:innen haben Aussagen wie „Weil man das sonst nicht vergleichen kann.“ oder „Weil die müssen ja gleich sein, sonst ist das ja gar nicht richtiges Vergleichen.“ getätigt, was für eine vollständige Reflexion spricht.

#### **Kategorie 4: Benennung der abhängigen Variablen**

Im Rahmen von Kategorie 4 soll reflektiert werden, dass die abhängige Variable die elektrische Leitfähigkeit und somit die Stoffeigenschaft ist, die mithilfe des geplanten Experiments untersucht werden soll. Wird dies benannt, kann von einer vollständigen

## 7. Dritte Untersuchung

Reflexion dieses Kriteriums der Variablenkontrollstrategie ausgegangen werden. Schüler:innen haben dies mit „Ob die Lösung leitet oder nicht.“ oder „Ob es leitet oder keinen Strom leitet.“ begründet.

### **Kategorie 5: Messung der abhängigen Variablen**

Die Kategorie 5 enthält Aussagen, die Begründungen für den Einsatz des Messinstruments beinhalten. Die abhängige Variable, die elektrische Leitfähigkeit, sollte mit einem Messinstrument gemessen werden, um Aufschluss darüber zu erhalten, welche Lösung elektrisch leitfähig ist. Eine vollständige Reflexion zeigt die Aussage „Dieses Messinstrument zeigt mir, ob die jeweilige Lösung leitfähig ist.“ oder „Man wollte halt gucken, ob die Glühlampe leuchtet und damit man gucken kann, ob der Stoff leitfähig ist, hat man halt eine Batterie hinzugefügt, hat dann diese Elektroden ins Wasser getan, damit man gucken kann, ob das Wasser das leitet und dann über den anderen Elektroden, ob der Strom in die Glühlampe fließt.“

### **Kategorie 6: Variation der unabhängigen Variablen unter Angabe einer Messdauer**

Im Rahmen von Kategorie 6 wurde geprüft, ob die Schüler:innen in der Lage sind zu reflektieren, dass für das Messen der Leitfähigkeit beider Lösungen eine genaue Messdauer festgelegt werden sollte, um vergleichbare Experimentbedingungen zu schaffen und vergleichbare Ergebnisse zu generieren. Die Aussagen „Damit beide Experimente gleich durchgeführt wurden.“ oder „Und das war halt auch wieder gleich, damit man das genau vergleichen kann.“ lassen auf vollständige Reflexion schließen.

### **Kategorie 7: Konstanthalten von Störvariablen**

Die Reflexion der Notwendigkeit des Konstanthaltens von Störvariablen wird innerhalb von Kategorie 7 kodiert. Die Schüler:innen sollten benennen, dass das Konstanthalten von Störvariablen notwendig ist, um vergleichbare Bedingungen des Experiments zu schaffen und vergleichbare Ergebnisse zu generieren. Folgende Aussagen lassen auf vollständige Reflexion schließen: „Damit das Experiment nicht irgendwie verfälscht wird und damit das für beide gleich bleibt und damit man das Experiment durchführen kann unter beiden Bedingungen.“ oder „Halt wieder für das Ergebnis vom Experiment, weil das ist ja wichtig, dass man beides gleich durchführt.“

### **Kategorie 8: Beschreibung von Kontrollversuchen**

Unter Kategorie 8 fallen Aussagen, die Begründungen für das Beschreiben von Kontrollversuchen im Rahmen des zu planenden Experiments beinhalten. Es sollte reflektiert werden, dass Kontrollversuche beschrieben werden müssen, um einerseits auszuschließen, dass die Ergebnisse zufällig aufgetreten sind und andererseits um die Ergebnisse mit anderen Größenangaben zu verifizieren. Eine beispielhafte Aussage, die eine vollständige Reflexion der Kategorie bestätigt, ist folgende: „Damit man die These oder das Ergebnis vergleichen kann. Also bei derselben Menge, um zu gucken, dass man nichts falsch gemacht hat, damit dasselbe Ergebnis rauskommt. Der Parallelansatz war ja 25 Gramm. Und das einfach auch, um die These zu bestätigen, dass Salz leidfähiger ist als Zucker, weil es nicht abhängig von der Menge ist.“

### **Kategorie 9: Multimedia Principle**

Das Multimedia Principle gilt als ein sinnvolles Gestaltungselement, da die Texte und Bilder unterschiedliche Informationsverarbeitungskanäle bedienen und ausgesucht werden kann, aus welcher Repräsentation Informationen erschlossen werden. Die Schüler:innen haben dieses Prinzip mit „Ja, also es ist immer gut, zwei verschiedene Varianten zu haben und auch eine Entscheidung.“ oder „Dass man sich das aussuchen konnte, fand ich gut, weil das ist ja dann bei jedem anders, was man besser versteht.“ als hilfreiches Gestaltungsmerkmal des eingesetzten Feedbacks bewertet.

### **Kategorie 10: Personalization Principle**

Das Personalization Principle gilt als sinnvolles Gestaltungselement, da das Lernen positiv beeinflusst wird, wenn sich der Adressat direkt angesprochen fühlt und Text in bekanntem Gesprächsstil vorzufinden ist. Die Schüler:innen haben dieses Prinzip mit „Das war eigentlich so wie in der Schule, wie im Chemieunterricht.“ oder „Ja, das ist halt so typische Sprache im Chemie.“ als hilfreiches Gestaltungsmerkmal des eingesetzten Feedbacks bewertet.

### **Kategorie 11: Spatial Contiguity Principle**

Das Spatial Contiguity Principle gilt als unterstützendes Gestaltungselement, da zusammengehörende Texte und Bilder räumlich nah beieinander präsentiert werden und keine kognitiven Ressourcen für das Suchen zusammengehörender Repräsentationen genutzt werden müssen. Die Schüler:innen haben dieses Prinzip mit „Ja, weil sonst kommt das durcheinander, sonst weiß man nicht, welcher Text zu welchem Bild gehört.“ oder „Ja, man kann halt direkt da rübergucken, also man muss halt nur einmal

## 7. Dritte Untersuchung

nach links gucken, dann kann man direkt zum Text rübergucken und wenn die jetzt z.B. auf der nächsten Seite wären oder irgendwie anders angeordnet, dann wäre das viel schwieriger, das einordnen zu können.“ als hilfreiches Gestaltungsmerkmal des eingesetzten Feedbacks bewertet.

### **Kategorie 12: Signaling Principle**

Das Signaling Principle gilt als sinnvolles Gestaltungselement, da die Aufmerksamkeit der Schüler:innen auf wichtige Informationen gelenkt wird und diese nicht gesucht werden müssen. Somit werden kognitive Ressourcen gespart. Die Schüler:innen haben dieses Prinzip mit „Ja, weil ich habe dann sofort nur auf den roten Kasten geguckt und dann wusste ich auch sofort, was geändert werden muss.“ oder „Ja, muss ich schon sagen, weil ich fand, die im roten Kästchen kamen mir halt wichtiger für das Experiment vor, als die im grauen Kasten.“ als hilfreiches Gestaltungsmerkmal des eingesetzten Feedbacks bewertet.

### **Kategorie 13: Coherence Principle**

Das Coherence Principle gilt als sinnvolles Gestaltungselement, da das Lernen verbessert wird, indem nur relevante Texte und Bilder im Lernmaterial sind, was Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses freihält. Die Schüler:innen haben dieses Prinzip mit „Ja, weil dann konnte man sich das einfach noch besser vorstellen.“ oder „Ja, weil man kann sich ja davor schon so ein Bild machen, wie das ungefähr aussehen sollte und deswegen ist das schon mal gut, das vorher sehen zu können und zu gucken, ob das auch ungefähr so gleich wäre, wenn man das selber machen würde.“ als hilfreiches Gestaltungsmerkmal des eingesetzten Feedbacks bewertet.

Alle Kategorien wurden von den Schüler:innen entweder teilweise oder vollständig reflektiert bzw. als teilweise hilfreich oder hilfreich eingeschätzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass sowohl alle Merkmale der Variablenkontrollstrategie adäquat nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback reflektiert werden können, als auch alle im Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien der CTML als hilfreich eingeschätzt werden. Des Weiteren ist festzuhalten, dass es keinen Unterschied in der Reflexion der Merkmale und der Einschätzung der Gestaltungsprinzipien zwischen Schüler:innen mit viel und wenig Fachwissen gibt. Das Text-Bild Feedback eignet sich dazu, die Merkmale der Variablenkontrollstrategie den Schüler:innen, unabhängig von ihrem Fachwissen, zu vermitteln und wird aufgrund der Gestaltung mittels textlicher und bildlicher Repräsentationen als unterstützendes Lernmaterial eingeschätzt.



### 7.3 Diskussion

Die Diskussion der Ergebnisse der dritten Untersuchung wird in Bezug auf Forschungsfrage 3 vorgenommen. Abschließend werden Schlussfolgerungen hinsichtlich Forschungsfrage 3 und der dazugehörigen Hypothesen gezogen.

#### Quantitative Ergebnisse

Forschungsfrage 3 fokussiert tiefergehende Analysen zur Ausprägung des Cognitive Load und der Kompetenz zum Planen eines Experiments im Verlauf der feedbackgestützten Lerngelegenheit. Durch das Interviewen von Schüler:innen sollen Erkenntnisse über die Reflexion von Merkmalen der Variablenkontrollstrategie nach dem Arbeiten mit dem Feedback sowie Gründe für das Einschätzen der umgesetzten Gestaltungsprinzipien als hilfreich ermittelt werden. Die Daten der Interviews dienen als weiterführende Erklärungen der Befunde hinsichtlich Forschungsfrage 3a. Folgende Forschungsfragen wurden formuliert:

**Forschungsfrage 3a:** Wie stark sind der Cognitive Load und die fachspezifische Kompetenz für die Planung eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie im Verlauf der Lerngelegenheit ausgeprägt?

**Hypothese 3a:** Der Cognitive Load sinkt im Verlauf der Lerngelegenheit, da das Feedback, mit welchem ein Experiment unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geplant werden soll, anhand der Gestaltungsprinzipien der CTML erstellt wurde (Mayer, 2001). Im Verlauf der Lerngelegenheit steigen die Kompetenzen für das Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie an, insbesondere nach der Arbeit mit lernbegleitendem Feedback.

**Forschungsfrage 3b:** Inwiefern sind Schüler:innen in der Lage nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback im Rahmen des Verfassens einer Experimentplanung die Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie zu begründen?

**Forschungsfrage 3c:** Aufgrund welcher Gestaltungsprinzipien der CTML wird die Präsentation des Lernstands und der nächsten Schritte im Text-Bild Feedback als hilfreich eingeschätzt?

Die Diskussion wird getrennt nach den vier Messzeitpunkten vorgenommen und mit den Erkenntnissen aus den Interviewdaten gestützt. Der Cognitive Load der Schüler:innen sinkt und die Kompetenz zum Planen eines Experiments steigt im Verlauf der Lerngelegenheit. Nach der Arbeit bzw. Anwendung des Text-Bild Feedbacks (MZP 3) ist der Cognitive Load signifikant niedriger als zu Messzeitpunkt 1 und die

## 7. Dritte Untersuchung

Kompetenz zum Planen eines Experiments ist signifikant höher als zu Messzeitpunkt 0.

Der Messzeitpunkt 0 beschreibt den Zeitpunkt vor dem Lesen der vorgefertigten Experimentplanung. Die Kompetenz zum Planen eines Experiments ist hier am niedrigsten in der gesamten Lerngelegenheit. Das Planen von Experimenten findet im Unterricht nur selten statt, obwohl diese Denk- und Arbeitsweise sowie konkret die Anwendung der Variablenkontrollstrategie im Kernlehrplan verankert sind (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019; Reiss et al., 2016). Der Messzeitpunkt 1 beschreibt den Zeitpunkt nach dem Lesen der vorgefertigten Experimentplanung. Zu diesem Zeitpunkt ist der Cognitive Load so hoch wie zu keinem weiteren Zeitpunkt in der Lerngelegenheit. Die Schüler:innen befinden sich hier in einer kognitiv anspruchsvollen Situation mit hohem Informationsgehalt. Sie werden dazu aufgefordert, sich in eine fiktive Situation zu versetzen, in welcher sie sich anspruchsvolle und einseitig aufbereitete verbal-schriftliche Informationen aneignen sollen, die nicht visualisiert werden (Leutner et al., 2014; Mayer, 2001; Sweller, 1988). Die Kompetenz zum Planen eines Experiments steigt langsam an. In der vorgefertigten Planung werden erste Hinweise gegeben, wie ein Experiment unter Anwendung einiger aber nicht aller Merkmale der Variablenkontrollstrategie geplant werden kann. Zu Messzeitpunkt 2, nach dem Lesen des Text-Bild Feedbacks, sinkt der Cognitive Load und die Kompetenz zum Planen eines Experiments steigt weiter an. Die Verarbeitung von multimedialem Lernmaterial findet nach dem SOI-Modell statt (siehe Kapitel 2.3.2). Die Schüler:innen müssen zunächst relevante Bild- und Textelemente selektieren, diese in einem verbalen bzw. bildhaften mentalen Modell organisieren und abschließend diese beiden mentalen Modelle miteinander und mit Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis in ein gemeinsames mentales Modell integrieren (Mayer, 2001). Durch die Gestaltung des Feedbacks mit Texten und Bildern werden Verarbeitungsprozesse, die nicht zum Erreichen des Lernziels beitragen, minimiert, sodass kognitive Ressourcen für das Ausführen lernförderlicher Prozesse zur Verfügung stehen. Verarbeitungsprozesse, die erforderlich sind, um zentrale Elemente des Lernmaterials im Arbeitsgedächtnis abzubilden, können stattfinden (Mayer, 2001; Paivio, 1986). Den Schüler:innen stehen somit ausreichend kognitive Ressourcen zur Verfügung, um die vorgefertigte Experimentplanung und das Feedback in Beziehung zu setzen. Sie können ableiten, welche Merkmale der Variablenkontrollstrategie bereits in der vorgefertigten Experimentplanung umgesetzt wurden und wie die fehlenden Merkmale eingeplant werden können. Diese Erklärung kann durch die Interviewdaten gestützt werden.

Die Schüler:innen schätzen die im Text-Bild Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien der CTML bei der Arbeit mit diesem als hilfreich ein und fühlen sich beim schriftlichen Planen des Experiments gut unterstützt.

Der Zeitpunkt nach der Arbeit mit dem Feedback bzw. nach dem Anwenden des Feedbacks im Rahmen der schriftlichen Experimentplanung stellt Messzeitpunkt 3 dar. Zu diesem Zeitpunkt ist der Cognitive Load signifikant niedriger als zu Messzeitpunkt 1 und die Kompetenz zum Planen eines Experiments ist signifikant höher als zu Messzeitpunkt 0. Durch die lernförderliche Gestaltung des Feedbacks und die daraus resultierende Verarbeitung von Informationen stellt das Anwenden des Feedbacks keine kognitive Hürde mehr dar. Auch die Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie anhand der zu den vier Messzeitpunkten eingesetzten Multiple-Choice-Single-Select Aufgaben stellt die Schüler:innen nicht mehr vor Herausforderungen. Aus den Studien von Bullock und Ziegler (1999) sowie Bullock und Sodian (2003) ist bekannt, dass sich die Bewusstheit für die Notwendigkeit eines kontrollierten Experiments und die Einsicht in die Variablenkontrollstrategie im Laufe der Sekundarschulzeit entwickelt. Diese Befunde bestärken die in der dritten Untersuchung ermittelten Entwicklungen der Schüler:innen hinsichtlich des Aufbaus von Kompetenzen zum Planen eines variablenkontrollierten Experiments.

Als Zwischenfazit kann Hypothese 3a bestätigt werden. Der Cognitive Load der Schüler:innen sinkt im Verlauf der Lerngelegenheit, da das Feedback, mit welchem ein Experiment unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie geplant wurde, anhand der Gestaltungsprinzipien der CTML erstellt wurde (Mayer, 2001). Im Verlauf der Lerngelegenheit steigen die Kompetenzen für das Planen eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie an, insbesondere nach der Arbeit mit lernbegleitendem Feedback. Durch das wiederholte Anwenden der Variablenkontrollstrategie werden Erkenntnisse über das Planen von kontrollierten Experimenten erworben. Wird die schriftliche Experimentplanung, die mithilfe des Feedbacks zwischen Messzeitpunkt 2 und 3 verfasst wurde, betrachtet, fällt auf, dass fast 60 % der schriftlich neu geschriebenen Experimentplanungen der Schüler:innen mit einer Qualitätsstufe von vier oder fünf bewertet wurden. Weniger als 20 % der neu geschriebenen Experimentplanungen der Schüler:innen wurden mit einer Qualitätsstufe von eins oder zwei bewertet. Zudem erreichen über 20 % der Schüler:innen in ihrer Experimentplanung die Qualitätsstufe drei (siehe Kapitel 7.2.2). Dieser Befund kann durch die Interviewdaten gestützt werden. Diese zeigen, dass die Schüler:innen nach dem Anwenden des Feedbacks in der Lage sind, zu begründen, warum die Merkmale der Variablenkontrollstrategie, auf welche Art und Weise im Rahmen der Experimentplanung umgesetzt werden müssen. Das Text-Bild Feedback kann als ein unterstützendes

## 7. Dritte Untersuchung

Lernmaterial hinsichtlich des Erlernens der Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten charakterisiert werden.

Wird die Performanz der interviewten Schüler:innen in den Kontrollvariablen (siehe Tabelle 54) näher betrachtet, fällt auf, dass trotz ähnlicher Anzahl erreichter Punkte in den Testinstrumenten eine stark unterschiedliche Qualitätsstufe in der feedbackgestützten schriftlichen Experimentplanung erreicht wurde (z. B. Vergleich Interview Nr. 4&6 mit 5&7 oder 14 mit 15, siehe Tabelle 54). So schreiben Scheiter et al. (2020), dass multimediales Lernmaterial vor allem für Novizen in einer Inhaltsdomäne lernwirksam ist, wenn mit Hilfe dieses Lernmaterials neues Wissen in einem Bereich angeeignet werden soll. Die in der vorliegenden Untersuchung erhobenen drei Kontrollvariablen (Fachwissen, Wissen über Variablenkontrollstrategie, kognitive Fähigkeiten) messen jedoch nicht die Inhaltsdomäne, die mit dem multimedialen Text-Bild Feedbackbogen gefördert werden soll. Das Text-Bild Feedback dient der Förderung der Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim schriftlichen Planen von Experimenten. Somit ist davon auszugehen, dass das Text-Bild Feedback von den Schüler:innen unterschiedlich verarbeitet wird. Das Lernen mit dem und der Lernerfolg durch den Feedbackbogen sind durch die differierende Verarbeitung unterschiedlich erfolgreich (Paivio, 1986). Zudem wird elaboriertes schriftliches Feedback in der Unterrichtspraxis nur selten eingesetzt und Schüler:innen müssen zunächst Lernstrategien entwickeln, um die gegebenen Informationen zu verarbeiten. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass Schüler:innen nur in geringem Ausmaß über geeignete Strategien beim Lernen mit Multimedia verfügen (Scheiter et al., 2020). Somit ist es empfehlenswert im Vorfeld Strategien für das effektive Lernen mit Multimedia zu vermitteln. Diese Strategien beziehen sich auf die Unterstützung der Selektion, Organisation und Integration von Text-Bild-Informationen im Sinne des SOI-Modells, um das adäquate Enkodieren von Informationen sicherzustellen (Mayer, 2014). Hierfür haben sich neun aufeinanderfolgende Lernstrategien als effektiv hinsichtlich der Lernwirksamkeit nach der Arbeit mit Multimedia herausgestellt (Mayer, 1996; Scheiter & Eitel, 2012; Scheiter et al., 2015; Weinstein & Mayer, 1986). Zunächst sollte der bildliche Anteil des Lernmaterials betrachtet werden. Im Anschluss daran soll der textliche Anteil des Lernmaterials in semantische Einheiten unterteilt werden. Die darauf folgenden Schritte orientieren sich am SOI-Modell (Mayer, 2001). Nach dem Selektieren relevanter Wörter durch Unterstreichen und relevanter Bildausschnitte durch Markieren wird die Phase der Organisation von Informationen eingeleitet. Hierbei sollen die zuvor eingeteilten semantischen Einheiten in eigenen Worten zusammengefasst und die relevanten Bildausschnitte benannt werden. In der Phase der Integration sollen Informationen aus dem Text an die Bilder geschrieben und Informationen aus den Bildern

auf den Text übertragen werden. Abschließend sollen die bildlichen Informationen erneut betrachtet und bei Verständnisschwierigkeiten die Informationen aus dem jeweils anderen Medium hinzugezogen werden (Scheiter et al., 2015). Scheiter et al. (2015) merken ergänzend an, dass die Jahrgangsstufe, in welcher sich die Schüler:innen befinden, ein Faktor für die Lernwirksamkeit des Strategietrainings ist. So ist es möglich, dass Schüler:innen der 9. Klasse bereits ihre eigenen Strategien für das Lernen mit Text und Bild haben, welche womöglich nicht die angemessensten Strategien darstellen. Ein Strategietraining stellt somit eine sinnvolle Lerneinheit vor der Arbeit mit multimedialem Lernmaterial dar.

### 7.4 Limitationen

Die Ergebnisse der dritten Untersuchung legen nahe, dass das Text-Bild Feedback ein unterstützendes Lernmaterial darstellt, welches jedoch von den Schüler:innen unterschiedlich verarbeitet wird. Die unterschiedliche Verarbeitung von multimedialem Material bedingt das erfolgreiche Lernen. Genauere Instruktionen zur Verarbeitung von Text-Bild-Informationen hätten dem entgegenwirken können.

In der vorliegenden Untersuchung haben die Schüler:innen lediglich einmal mit Feedback gearbeitet. Im Sinne des Formativen Assessments sollte das Geben und Erhalten von Feedback als eine regelmäßige Unterrichtskultur praktiziert werden. So stellt sich ein routinierter Umgang mit Feedback ein und das Erhalten von Feedback wird nicht als Kritik an der eigenen Leistung, sondern als Chance zur Weiterentwicklung angesehen.

Die Erkenntnisse gelten lediglich für den Chemieunterricht der Jahrgangsstufe 9 an Gymnasien und eine Verallgemeinerung auf andere Jahrgangsstufen, Schulformen oder Unterrichtsfächer bleibt offen. Die externe Validität ist dadurch eingeschränkt. Da der Fokus dieser Untersuchung auf der Kompetenz des Planens von Experimenten liegt und weitere Denk- und Arbeitsweisen, wie z. B. das Durchführen von Experimenten, nicht betrachtet wurden, ist die interne Validität hoch, die Befunde jedoch nicht ohne weitere Untersuchungen auf Unterricht übertragbar.

Mit den zwei einzelnen Likert-skalierten Items zur Erfassung des Cognitive Load (Kalyuga et al., 1999; Sweller, 1988) wurden statistische Analysen gerechnet, welche auf der Anwendung parametrischer Testverfahren beruhen. Baur und Blasius (2022) erlauben dieses Vorgehen, mit der Bedingung, dass die optimale Anzahl an Antwortkategorien sieben plus/minus zwei Stufen beträgt (Bühner, 2021; Porst, 2014).

### **Schlussfolgerungen hinsichtlich der Forschungsfrage 3**

Die Forschungsfrage 3 adressiert a) die Untersuchung der Ausprägung des Cognitive Load und der Kompetenz zum Planen eines Experiments im Verlauf der Lerngelegenheit sowie b) die Fähigkeit zur Begründung der Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie und c) die Einschätzung der im Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien der CTML.

Hinsichtlich Forschungsfrage 3a ist festzuhalten, dass der Cognitive Load der Schüler:innen nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback signifikant niedriger und die Kompetenz zum Planen eines Experiments nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback signifikant höher als zu Beginn der Lerngelegenheit ist. Die Effektivität des Text-Bild Feedbacks kann somit erneut bestätigt werden. Die Gestaltung des Feedbacks minimiert das Abläufen externer Prozesse, welche nicht zum Erreichen des Lernziels beitragen, und hält kognitive Ressourcen für lernförderliche Verarbeitungsprozesse frei. Die Befunde werden durch die Erkenntnisse aus den Daten der Interviews in Anlehnung an Forschungsfrage 3b und c gestützt. Die Schüler:innen sind nach dem Anwenden des Feedbacks im Rahmen der schriftlichen Experimentplanung in der Lage, die Umsetzung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie korrekt zu begründen. Außerdem schätzen sie alle im Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien der CTML als hilfreich ein, was für eine adäquate Verarbeitung der Text-Bild-Informationen spricht.

Jedoch zeigt ein vertiefter Blick in die Ausgangsbedingungen der interviewten Schüler:innen, dass unabhängig von ihrer Performanz hinsichtlich der Kontrollvariablen, stark unterschiedliche Qualitätsstufen in den feedbackgestützten schriftlichen Experimentplanungen erreicht werden. Dieser Befund kann durch eine unterschiedliche Verarbeitung des multimedialen Text-Bild Feedbacks begründet werden, welche gezielte Lernstrategien erfordert. Im Sinne eines Pre-Intervention-Trainings könnten, um gemeinsame Ausgangsbedingungen hinsichtlich der Verarbeitung von Text-Bild-Informationen zu schaffen, entsprechende Strategien trainiert werden.

## 8. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung und Evaluation von Feedback zur Förderung der Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten und das Analysieren des Effekts dieses Feedbacks auf den Cognitive Load, die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung. Nachfolgend wird die Ausgangslage der vorliegenden Arbeit zusammengefasst. Im Anschluss werden die Ergebnisse der drei durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Abschließend werden weiterführende Implementationsmöglichkeiten des Text-Bild Feedbacks skizziert sowie Implikationen der Ergebnisse für die Unterrichtspraxis abgeleitet.

Bisherige Forschungsergebnisse zeigen, dass die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten für Schüler:innen herausfordernd ist (Bullock & Sodian, 2003; Bullock & Ziegler, 1999; Hammann et al., 2006; Scheuermann, 2017; Siler & Klahr, 2012). Jedoch ist es beim Planen von Experimenten notwendig, die unabhängige Variable unter kontrollierten Bedingungen zu variieren, um kausale Schlüsse treffen zu können (Arnold et al., 2012). Es wird deutlich, dass eine Form der Lernunterstützung notwendig ist, z. B. das Geben von Feedback (Hattie & Timperley, 2007). In vorangegangenen empirischen Studien aus der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung hat sich Feedback als eine effektive Form der Lernunterstützung beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie herausgestellt (Hild et al., 2020; Ropohl & Scheuermann, 2018; Scheuermann, 2017; Wollenschläger et al., 2011, 2012). Problematisch ist jedoch, dass es eine große Varianz in den Möglichkeiten gibt, wie dieses Feedback gestaltet werden kann und welcher Inhalt zurückgemeldet wird. Die Forschung legt nahe, dass die Gestaltung und der Inhalt des Feedbacks die Wirkung bestimmen (Narciss & Huth, 2004; Shute, 2008). Da die Lernsituation, in welcher Schüler:innen feedbackgestützt Experimente planen, komplex ist, wird vermutet, dass der Cognitive Load und die Motivation beeinflusst werden (Leutner et al., 2014; Ryan & Deci, 2000; Sweller, 1988). Zum Einfluss von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale liegen unterschiedliche Ergebnisse vor, welche in Abhängigkeit von der Aufbereitung des Feedbacks variieren (Hild et al., 2020; Scheuermann, 2017; Wollenschläger, 2012).

Vor dem Hintergrund des Forschungsstandes adressieren die Forschungsfragen das Identifizieren von als unterstützend wahrgenommenen Feedbackmerkmalen (Untersuchung 1), das Analysieren des Einflusses von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale (Untersuchung 1 und 2) sowie das Analysieren der feedbackinduzierten Veränderung kognitiver Schüler:innenmerkmale (Untersuchung 3) beim feedbackgestützten Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie.

## 8. Zusammenfassung

In der ersten Untersuchung wurde festgestellt, dass vor allem der Unterstützung durch das Aufführen der nächsten Schritte zugestimmt wird. Ebenfalls fällt die Zustimmung zur Unterstützung des Feedbacks durch die Fehlerorientierung, die Beispielorientierung, das Angeben des Weges zum Erreichen des Lernziels und das Angeben des Lernstands leicht. Im Vergleich dazu fällt die Zustimmung zur Unterstützung durch die sprachliche Verständlichkeit des Feedbacks, den Aufgabenbezug, das Vorliegen in schriftlicher Form, die Personalisierung und das Aufführen des Lernziels etwas weniger leicht. Deutlich schwerer fällt die Zustimmung zu den Merkmalen des Aufzeigens eines Fortschrittes, der ermutigenden Formulierung von Informationen und dem adäquaten Umfang des Feedbacks. Das in dieser Untersuchung eingesetzte Feedback hat den Cognitive Load und die Motivation der Schüler:innen beim Planen von Experimenten nicht beeinflusst. Lediglich die wahrgenommene Kompetenzunterstützung des Feedbacks variierte. Durch die für Schüler:innen komplizierte Anordnung der rückgemeldeten Informationen im Feedback der Untersuchungsgruppe 3, ist eine deutlich geringere Kompetenzunterstützung im Vergleich zu den anderen beiden Feedbackversionen zu verzeichnen. Die Ergebnisse der ersten Untersuchung legen nahe, dass das Feedback für den Einsatz in Untersuchung zwei vor allem hinsichtlich der Gestaltung optimiert werden muss. So wurden drei Feedbackversionen konzipiert, die inhaltlich identisch aber gestalterisch unterschiedlich zum Feedback der ersten Untersuchung sind.

Die Ergebnisse der zweiten Untersuchung zeigen, dass die vier eingesetzten Feedbackversionen, das Nur-Text, Nur-Bild, Text-Bild und Kontroll Feedback, den Cognitive Load aber nicht die Motivation und wahrgenommene Kompetenzunterstützung beeinflussen. Der Einsatz des Nur-Bild sowie des Text-Bild Feedbacks führt zu einem signifikant niedrigeren Cognitive Load der Schüler:innen als der Einsatz des Nur-Text Feedbacks oder das Feedback der Vergleichsgruppe. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass der Effekt des Feedbacks in der Nur-Bild und Text-Bild Gruppe aber nicht in der Nur-Text Gruppe im Vergleich zum Feedback der Vergleichsgruppe auf die Qualität der Experimentplanung partiell über den Cognitive Load vermittelt wird. Für die Motivation und die wahrgenommene Kompetenzunterstützung konnten keine mediiierenden Effekte ermittelt werden. Zudem hat sich das Text-Bild Feedback als die lerneffektivste Feedbackversion dieser Untersuchung herausgestellt. Die Schüler:innen, die mit dem Text-Bild Feedback gearbeitet haben, erreichen statistisch signifikant höhere Punktzahlen im Vergleich zu den Schüler:innen, die mit dem Nur-Text oder Nur-Bild Feedback gearbeitet haben. Die Ergebnisse dieser Untersuchung verdeutlichen, dass das Text-Bild Feedback hinsichtlich der Entlastung kognitiver Prozesse und dem Aufbau fachlicher Kompetenzen zum Planen von Experimenten, im



Vergleich zu den anderen drei eingesetzten Feedbackversionen, die effektivste Feedbackversion ist. In der dritten Untersuchung soll die Ausprägung der Kompetenz des Planens eines Experiments unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie sowie des Cognitive Load in der Lerngelegenheit, wenn mit dem Text-Bild gearbeitet wird, untersucht werden.

Die Ergebnisse der dritten Untersuchung zeigen, dass der Cognitive Load im Verlauf der Lerngelegenheit sinkt und nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback beim Planen eines Experiments signifikant niedriger ist als zu Beginn der Lerngelegenheit. Zudem steigen die Kompetenzen zum Planen eines Experiments im Verlauf der Lerngelegenheit und sind nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback beim Planen eines Experiments signifikant höher als zu Beginn der Lerngelegenheit. Die Auswertung der Interviews hat ergeben, dass Schüler:innen nach der Arbeit mit dem Text-Bild Feedback in der Lage sind die Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie zu reflektieren und zu begründen. Zudem schätzen die Schüler:innen die im Feedback umgesetzten Gestaltungsprinzipien der CTML als hilfreich und unterstützend ein.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Feedback eine effektive Lernunterstützung beim Planen von Experimenten unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie darstellt. Abhängig von der Gestaltung variiert der Einfluss auf Cognitive Load, Motivation, wahrgenommene Kompetenzunterstützung und Lernerfolg. Die Feedbackversion, die die Informationen zum Lernstand und zu den nächsten Schritten über Texte und Bilder vermittelt, hat sich im Rahmen der drei Untersuchungen als die effektivste Feedbackversion herausgestellt. Wie diese Feedbackversion zeitökonomisch optimiert werden kann, um eine einfachere Implementation in den Chemieunterricht zu ermöglichen und die Anschlussfähigkeit für die Schule zu gewährleisten, wird im Folgenden ausgeführt.



## 9. Ausblick

Das Ausstellen individuellen lernbegleitenden Feedbacks im Sinne formativen Assessments ist sehr zeitaufwändig und im Schulalltag nur eingeschränkt zu integrieren. Eine deutlich zeitökonomischere und in den Unterricht besser implementierbare Option stellt das Arbeiten mit Feedback im Sinne von Self- oder Peer-Assessment dar. Da Feedback, das Informationen über Texte und Bilder rückmeldet, als effektiv hinsichtlich der Lernunterstützung charakterisiert werden kann, wird im Folgenden vorgestellt, wie diese Form von Feedback im Self- oder Peer-Assessment realisiert werden kann.

Falchikov und Boud (1989) berichten positive Lerneffekte für das Arbeiten mit Self-Assessment. Dieser Befund wird von Andrade und Du (2007) sowie White und Frederiksen (1998) bestätigt. Sie berichten, dass Self-Assessment deshalb so lernwirksam ist, weil eine intensive Auseinandersetzung mit den Kriterien zur Erreichung des Lernziels stattfindet. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Kriterien klar definiert sind. Die Schüler:innen müssen sie zur Bewertung und Rückmeldung anwenden können (Adams & King, 1995). Um das sicherzustellen, ist ein Training im Vorfeld notwendig. Die Schüler:innen müssen die Merkmale der Variablenkontrollstrategie kennen und anwenden sowie die Anwendung bewerten können. Obwohl dies eine sehr anspruchsvolle Aufgabe darstellt, kann davon ausgegangen werden, dass ein Feedbackbogen, der das zu planende Experiment inklusive der Merkmale der Variablenkontrollstrategie über Texte und Bilder darstellt, eine gute Unterstützung bietet, damit dies gelingt. Es werden alle notwendigen Informationen gegeben, um zu verstehen, wie die einzelnen Merkmale der Variablenkontrollstrategie in diesem Experiment realisiert werden können. Damit Feedback als eine Möglichkeit zur Verbesserung und nicht als das bloße Aufzeigen von Schwächen und Fehlern interpretiert wird, sollte regelmäßig damit gearbeitet werden, um eine Routine aufzubauen (Black & Wiliam, 1998).

Im Folgenden wird die Umsetzung des Text-Bild Feedbacks als Self-Assessment erklärt. Zunächst planen die Schüler:innen zu einer Forschungsfrage und einer begründeten Hypothese ein Experiment unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie und verschriftlichen die Planung auf dem Forscherbogen. Mithilfe des Feedbackbogens bewerten die Schüler:innen ihr eigens geplantes Experiment. Der Text-Bild Feedbackbogen würde zunächst keinerlei Markierungen in Form von roten Kästen auf den Bildern aufweisen. Auch die Sprechblasen, in denen die Texte stehen, sind alle grau umrahmt. Vor jedem Text in der Sprechblase ist eine kleine Box, die nicht abgehakt ist (siehe Abbildung 34).

## 9. Ausblick

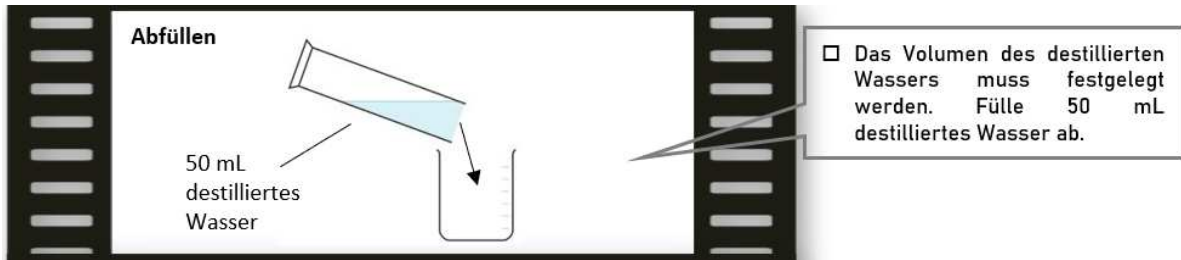


Abbildung 34: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Text-Bild Feedback für den Einsatz im Self-Assessment

Das so aufbereitete Feedback zeigt den Schüler:innen, welche Schritte im Experimentierprozess eingeplant werden müssen und wie die Merkmale der Variablenkontrollstrategie umgesetzt werden können. Die Schüler:innen vergleichen jeden Schritt des Experiments mit ihrer Planung. Wurden Merkmale der Variablenkontrollstrategie in einem Experimentierschritt gleichermaßen umgesetzt, können diese Merkmale als Lernstand betrachtet und der zugehörige Text auf dem Feedbackbogen abgehakt werden. Wurden Merkmale der Variablenkontrollstrategie in einem Experimentierschritt nicht oder falsch umgesetzt werden diese Merkmale als nächster Schritt auf dem Weg zum Erreichen des Lernziels betrachtet. Um die nächsten Schritte widerzuspiegeln, wird die Box vor dem Text nicht abgehakt. Um stärker darauf hinzuweisen, kann die Umrandung des Textes farbig markiert werden. Zusätzlich kann auf dem Bild der fehlerhafte Schritt farbig umrandet werden. Danach folgen die Überarbeitung der schriftlichen Experimentplanung und die Durchführung des Experiments.

Nicht nur für die Arbeit mit Self-Assessment, sondern auch für die Arbeit mit Peer-Assessment können in der Literatur positive Effekte hinsichtlich der Lernwirksamkeit gefunden werden (Bedford & Legg, 2007; Gan Joo Seng & Hill, 2014). Im Rahmen des Peer-Assessments geben sich zwei Schüler:innen wechselseitig Feedback zu einer bearbeiteten Aufgabe (Bedford & Legg, 2007). Auch hier ist ein Training im Vorfeld notwendig, damit das sichere Anwenden und Bewerten von detaillierten Kriterien, z. B. die Merkmale der Variablenkontrollstrategie, sowie das Ausstellen von Feedback sichergestellt wird. Dies stellt erneut eine sehr anspruchsvolle Aufgabe dar. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass ein Feedbackbogen, der das zu planende Experiment inklusive der Merkmale der Variablenkontrollstrategie über Texte und Bilder darstellt, eine gute Unterstützung bietet, damit dies gelingt. Es werden alle notwendigen Informationen gegeben, um zu verstehen, wie die einzelnen Merkmale der Variablenkontrollstrategie in diesem Experiment realisiert werden können.

Im Folgenden wird die Umsetzung des Text-Bild Feedbacks als Peer-Assessment erklärt. Zunächst planen die Schüler:innen zu einer Forschungsfrage und einer begründeten Hypothese ein Experiment unter Anwendung der Variablenkontrollstrategie und verschriftlichen die Planung auf dem Forscherbogen. Mithilfe des Feedbackbogens

bewerten die Schüler:innen das vom Lernpartner bzw. der Lernpartnerin geplante Experiment. Der Text-Bild Feedbackbogen wäre gemäß Abbildung 34 vorbereitet. Die Schüler:innen vergleichen jeden Schritt des Experiments mit der Planung des Partners bzw. der Partnerin. Richtig umgesetzte Merkmale der Variablenkontrollstrategie zählen, wie beim Self-Assessment, zum Lernstand und nicht korrekt umgesetzte Merkmale zu den nächsten Schritten. Um das widerzuspiegeln wird die Box vor dem Text nicht abgehakt. Um stärker darauf hinzuweisen, kann die Umrandung des Textes farbig markiert und zusätzlich auf dem Bild der fehlerhafte Schritt farbig umrandet werden. Danach folgen der Austausch der Feedbackbögen und die Überarbeitung der schriftlichen Experimentplanung. Abschließend erfolgt die Durchführung des Experiments. Da das Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Regel nicht in Einzel- sondern in Partner- oder Gruppenarbeit stattfindet, stellt das Arbeiten mit Feedback im Sinne des Peer-Assessments die praktikablere Variante der beiden vorgestellten Umsetzungsmöglichkeiten dar.

Mit fortschreitender Digitalisierung sollte zusätzlich in Betracht gezogen werden, wie Feedback in digitalisierter Form im Unterricht eingesetzt werden kann. Digitales Feedback kann nicht nur eine Substitution der analogen Form, also ein direkter Ersatz ohne funktionale Änderung, sein, sondern bietet auch die Möglichkeit der Augmentation, also der Einsatz mit funktionaler Verbesserung (Wisniewski, 2019). Da das Durchführen einer Experimentplanung ein dynamischer Prozess ist, kann dieser Aspekt bei der Umsetzung digitalen Feedbacks beachtet und als Verbesserung umgesetzt werden (Krause, 2018). Auch Höffler und Leutner (2007) schreiben, dass nicht-interaktive Animationen (z.B. Videos) einen Vorteil gegenüber statischen Bildern beim Lernen haben ( $d = .37$ , 95% KI [.25, .49]). Im Folgenden wird eine Möglichkeit der Umsetzung digitalen Feedbacks zur Förderung der Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten vorgestellt. In diesem Feedback werden die statischen Bilder durch dynamische nicht-interaktive Animationen ersetzt. Der Experimentierprozess inklusive Anwendung der Merkmale der Variablenkontrollstrategie kann als Video aufgenommen werden. Durch diese Umsetzung erfolgt eine Verbesserung der im Text-Bild Feedback genutzten Bilder, indem diese dynamisiert werden. Hierbei sollten Kriterien gut gefilmter Experimente beachtet werden. So sollte ein farblich unauffälliger Hintergrund gewählt werden, der den Versuchsaufbau deutlich von diesem abhebt. Der Versuchsaufbau kann zudem mit Schildern beschriftet werden. Die Kamera sollte so ausgerichtet sein, dass der Versuchsaufbau fokussiert und nicht die experimentierende Person gefilmt wird. Es reicht aus, wenn die Hände der Person zu sehen sind (Ronczkowski, 2021). Die textlich präsentierten Informationen des Text-Bild Feedbacks können für jeden Schritt des Experimentierprozesses im

## 9. Ausblick

Video in einem Kasten oben rechts in der Ecke dauerhaft eingeblendet werden. So werden die Informationen des Feedbacks wieder über zwei Kanäle präsentiert. Um kognitive Prozesse zu fördern, bietet sich erneut die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien der CTML an (Mayer, 2001). Nach jedem Schritt des Experimentierprozesses kommt die Nachfrage an die Schüler:innen, ob dieser Schritt in der gezeigten Ausführung in der Planung berücksichtigt wurde. Wird diese Frage bejaht, ist das entsprechende Lernziel erreicht und kann dem Lernstand zugeordnet werden. Wird diese Frage verneint, müssen die nächsten Schritte eingeleitet werden, um das entsprechende Lernziel zu erreichen. Mithilfe eines interaktiven Videos kann zur eigenen schriftlichen Experimentplanung im Sinne des Self-Assessments oder zur schriftlichen Experimentplanung des Lernpartners bzw. der Lernpartnerin im Sinne des Peer-Assessments Feedback ausgestellt werden.

Weiterführende Untersuchungen könnten den Fokus auf sprachliche Aspekte des Feedbackbogens und den schriftlich verfassten Experimentplanungen der Schüler:innen legen. Einerseits könnte das Leseverstehen der Schüler:innen als Variable erhoben und in Beziehung zum eingesetzten Feedbackbogen und den verschriftlichten Experimentplanungen gesetzt werden. Andererseits könnte die geschriebene Experimentplanung anhand der Anzahl geschriebener Wörter, Sätze und verwendeten Fachbegriffe tiefgehend analysiert werden.

Für die Unterrichtspraxis können zudem anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit Implikationen zur Förderung der Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten abgeleitet werden.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass sich vor allem multimedial gestaltetes Feedback mit Texten und Bildern, das Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu den nächsten Schritten liefert, für den Einsatz im Unterricht eignet. Diese Form von Feedback ist hinsichtlich der Lernunterstützung als effektiv zu charakterisieren. Zudem wird der Cognitive Load während der Arbeit mit diesem Feedback niedrig gehalten, wodurch ausreichend kognitive Ressourcen für den Arbeitsprozess zur Verfügung stehen. Da die Ergebnisse lediglich für die in dieser Arbeit beschriebenen Art und Weise der Umsetzung gelten, empfiehlt es sich, diese für den Unterricht identisch zu übernehmen. Außerdem ist es empfehlenswert, die Merkmale der Variablenkontrollstrategie in einer Übungseinheit einzuführen, um das Verständnis für die Merkmale und die zuverlässige Bewertung anhand dieser Merkmale sicherzustellen. Da das Ausstellen des Feedbacks sehr zeitaufwändig ist, wurden bereits Ansätze beschrieben, die für die Unterrichtspraxis leichter zu implementieren sind. Danach folgen die Überarbeitung der schriftlichen Experimentplanung und die Durchführung des Experiments.

Auf die verschiedenen dargestellten Weisen (Formatives, Self-, Peer-Assessment) können Lehrkräfte die Anwendung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten mit Hilfe multimedialen Feedbacks lernunterstützend im Unterricht fördern.





**Literaturverzeichnis**

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R [Richard], Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. <https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Adams, C. & King, K. (1995). Towards a Framework for Student Self-Assessment. *Innovations in Education and Training International*, 32(4), 336–343. <https://doi.org/10.1080/1355800950320405>
- Alred, G. J., Brusaw, C. T. & Oliu, W. E. (2009). *Handbook of technical writing*. New York: St. Martin's Press.
- Andrade, H. & Du, Y. (2007). Student responses to criteria-referenced self-assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 32(2), 159–181. <https://doi.org/10.1080/02602930600801928>
- Arnold, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen: Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe*. Berlin: Logos Verlag.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2012). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren - Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. In D. Krüger, A. Upmeyer zu Belzen, P. Schmiemann, A. Möller & D. Elster (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* (S. 7–20). Kassel: Universitätsdruckerei.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments - What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36(16), 2719–2749. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>
- Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C.-L. C., Kulik, J. A. & Morgan, M. (1991). The Instructional Effect of Feedback in Test-Like Events. *Review of Educational Research*, 61(2), 213–238. <https://doi.org/10.3102/00346543061002213>
- Baur, N. & Blasius, J. (2022). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37985-8>
- Bedford, S. & Legg, S. (2007). Formative peer and self feedback as a catalyst for change within science teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(1), 80–92. <https://doi.org/10.1039/B6RP90022D>
- Behnke, K. (2016). *Umgang mit Feedback im Kontext Schule*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-10223-4>
- Berndt, M., Strijbos, J.-W. & Fischer, F [Frank] (2018). Effects of written peer-feedback content and sender's competence on perceptions, performance, and

- mindful cognitive processing. *European Journal of Psychology of Education*, 33(1), 31–49. <https://doi.org/10.1007/s10212-017-0343-z>
- Biber, D., Nekrasova, T. & Horn, B. (2011). The Effectiveness of Feedback for L1-English and L2-Writing Development: A Meta-Analysis. *ETS Research Report Series*(1), i-99. <https://doi.org/10.1002/j.2333-8504.2011.tb02241.x>
- Black, P. & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–75.
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R. & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Bolzer, M., Strijbos, J. W. & Fischer, F [F.] (2015). Inferring mindful cognitive-processing of peer-feedback via eye-tracking: role of feedback-characteristics, fixation-durations and transitions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(5), 422–434. <https://doi.org/10.1111/jcal.12091>
- Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687–699. <https://doi.org/10.1177/001316448104100307>
- Brookhart, S. M. (2010). *Formative assessment strategies for every classroom: An ASCD action tool*. ASCD.
- Bühner, M. (2021). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (4. Aufl.). München: Pearson.
- Bullock, M. & Sodian, B. (2003). Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens. In W. Schneider & M. Knopf (Hrsg.), *Entwicklung, Lehren und Lernen* (S. 75–92). Göttingen: Hogrefe.
- Bullock, M. & Ziegler, A. (1999). Scientific reasoning: Developmental and individual differences. In F. E. Weinert & W. Schneider (Hrsg.), *Individual Development from 3 to 12. Findings from the Munich Longitudinal Study* (S. 38–60). University Press.
- Bürgermeister, A., Kampa, M., Rakoczy, K., Harks, B., Besser, M., Klieme, E., Blum, W. & Leiß, D. (2011). *Dokumentation der Befragungsinstrumente des Laborexperimentes im Projekt “Conditions and Consequences of Classroom Assessment” (Co<sup>2</sup>CA)*. Frankfurt am Main: DIPF. <https://doi.org/10.25656/01:3528>
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2)

- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70(5), 1098–1120.  
**<https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>**
- Cohen, J. (1988a). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge. **<https://doi.org/10.4324/9780203771587>**
- Cohen, J. (1988b). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Auflage). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Deci, E. L. (1971). Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. *Journal of personality and social psychology*, 18(1), 105–115.  
**<https://doi.org/10.1037/h0030644>**
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. Boston: Springer US. **<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2271-7>**
- Ebenezer, J., Kaya, O. N. & Ebenezer, D. L. (2011). Engaging students in environmental research projects: Perceptions of fluency with innovative technologies and levels of scientific inquiry abilities. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 94–116. **<https://doi.org/10.1002/tea.20387>**
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des Naturwissenschaftlich-Experimentellen Arbeitens: Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos Verlag. **<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5219634>**
- Falchikov, N. & Boud, D. (1989). Student Self-Assessment in Higher Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 59(4), 395–430.  
**<https://doi.org/10.3102/00346543059004395>**
- Falchikov, N. & Goldfinch, J. (2000). Student Peer Assessment in Higher Education: A Meta-Analysis Comparing Peer and Teacher Marks. *Review of Educational Research*, 70(3), 287–322. **<https://doi.org/10.2307/1170785>**
- Fechner, S. (2009). *Effects of Context-Oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education*. Berlin: Logos Verlag.  
**<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5219654>**
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5. Aufl.). Los Angeles; London; New Delhi; Singapore; Washington DC; Melbourne: SAGE.
- Flick, L. B. & Lederman, N. G. (Hrsg.). (2006). *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. Dordrecht: Springer. **<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1>**

- Forbes, C. T., Neumann, K. & Schiepe-Tiska, A. (2020). Patterns of inquiry-based science instruction and student science achievement in PISA 2015. *International Journal of Science Education*, 42(5), 783–806.
- Fraser, B. J., Walberg, H. J., Welch, W. W. & Hattie, J. (1987). Syntheses of educational productivity research. *International Journal of Educational Research*, 11, 145–252.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329.  
**<https://doi.org/10.3102/0034654312457206>**
- Gan Joo Seng, M. & Hill, M. (2014). Using a Dialogical Approach to Examine Peer Feedback During Chemistry Investigative Task Discussion. *Research in Science Education*, 44(5), 727–749. **<https://doi.org/10.1007/s11165-014-9403-4>**
- Glass, G. V., Peckham, P. D. & Sanders, J. R. (1972). Consequences of Failure to Meet Assumptions Underlying the Fixed Effects Analyses of Variance and Covariance. *Review of Educational Research*, 42(3), 237–288.  
**<https://doi.org/10.3102/00346543042003237>**
- Hammann, M., Phan, T., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht - MNU*(59), 292–299.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. **<https://doi.org/10.3102/003465430298487>**
- Hauerstein, M.-T. (2019). *Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I: Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*. Berlin: Logos Verlag.
- Haugwitz, M. (2009). *Kontextorientiertes Lernen und Concept-Mapping im Fach Biologie: Eine experimentelle Untersuchung zum Einfluss auf Interesse und Leistung unter Berücksichtigung von Moderationseffekten individueller Voraussetzungen beim kooperativen Lernen*. Berlin: Logos Verlag.
- Hayes, A. F. (2018). *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: Second Edition*. New York: Guilford Press.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision*. Beltz Test GmbH.
- Hild, P., Buff, A., Gut, C. & Parchmann, I. (2020). Adaptives kompetenzbezogenes Feedback beim selbstständigen praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten.

- Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 19–35.  
<https://doi.org/10.1007/s40573-020-00109-8>
- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722–738.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013>
- Hu, L. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55.  
<https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Johnson, C. & Priest, H. (2014). The Feedback Principle in Multimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 449–463). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.023>
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351–371. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199908\)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6)
- Kleickmann, T., Steffensky, M. & Praetorius, A.-K. (2020). Quality of teaching in science education: more than three basic dimensions? *Zeitschrift für Pädagogik*, 66.
- Klos, S. (2008). *Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht - der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*. Berlin: Logos Verlag.
- Kluger, A. N. & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254–284.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.2.254>
- KMK. (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München: Wolters Kluwer.
- Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation Von Experimentunterstützten Lösungsbeispielen Zur Förderung Naturwissenschaftlich-Experimenteller Arbeitsweisen*. Berlin: Logos Verlag.  
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5231146>
- Krause, M. (2018). Dynamische Prozesse auf der Teilchenebene mithilfe von StopMotion-Videos lernen. In J. Meßinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), *Naturwissenschaften / Joachim Herz Stiftung. Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht* (1. Aufl., S. 70–73). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.

- Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.  
**<https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>**
- Leppink, J., Paas, F., van der Vleuten, C. P. M., van Gog, T. & van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior research methods*, 45(4), 1058–1072. **<https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>**
- Leutner, D., Opfermann, M. & Schmeck, A. (2014). Lernen mit Medien. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie: Mit Online-Materialien zum Download* (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Lix, L. M., Keselman, J. C. & Keselman, H. J. (1996). Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance F Test. *Review of Educational Research*, 66(4), 579–619. **<https://doi.org/10.3102/00346543066004579>**
- Magner, U. I. E., Schwonke, R., Aleven, V., Popescu, O. & Renkl, A. (2014). Triggering situational interest by decorative illustrations both fosters and hinders learning in computer-based learning environments. *Learning and Instruction*, 29, 141–152. **<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.07.002>**
- Mang, J., Ustjanzew, N., Leßke, I., Schiepe-Tiska, A. & Reiss, K. (2019). *PISA 2015 Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster; New York: Waxmann.
- Marsh, H. W., Hau, K. T., Balla, J. R. & Grayson, D. (1998). Is More Ever Too Much? The Number of Indicators per Factor in Confirmatory Factor Analysis. *Multivariate behavioral research*, 33(2), 181–220.  
**[https://doi.org/10.1207/s15327906mbr3302\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327906mbr3302_1)**
- Mayer, R. E. (1996). Learning strategies for making sense out of expository text: The SOI model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. *Educational Psychology Review*, 8(4), 357–371.  
**<https://doi.org/10.1007/BF01463939>**
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.
- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: University Press. **<https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819>**
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.  
**<https://www.cambridge.org/core/books/multimedia-learning/7A62F072A71289E1E262980CB026A3F9>**  
**<https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>**
- Mayer, R. E. (2012). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.  
**<https://doi.org/10.1017/CBO9781139164603>**

- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2014). *The Cambridge handbook of multimedia*. Cambridge: University Press.
- Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2).  
[https://www.researchgate.net/publication/215666096\\_Qualitative\\_Content\\_Analysis](https://www.researchgate.net/publication/215666096_Qualitative_Content_Analysis)
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Beltz. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1136370>
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen Chemie*.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium in Nordrhein-Westfalen Chemie*.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Hrsg.). (2020). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Moreno, R. (2005). Instructional Technology – Promise and Pitfalls. In L. M. Pyllykzillig, M. Bodvarsson & R. Bruning (Hrsg.), *Technology-Based Education: Bringing Researchers and Practitioners Together* (S. 1–19). Information Age.
- Moreno, R. (2006). Does the modality principle hold for different media? A test of the method-affects-learning hypothesis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(3), 149–158.
- Narciss, S. & Huth, K. (2004). How to design informative tutoring feedback for multi-media learning. In Niegemann, H.M., Leutner, D., Brünken, R. (Hrsg.), *Instructional Design for Multimedia learning* (S. 181–195). Münster, New York: Waxmann.
- Nehring, A. (2014). *Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie: Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung*. Berlin: Logos Verlag.
- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education*. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R [Rick] (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>

- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429–434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pöhlmann, C. (Hrsg.). (2013). *IQB-Ländervergleich 2012: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Waxmann.
- Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315–341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1958). *The Growth Of Logical Thinking From Childhood To Adolescence: An essay on the construction of formal operational structures*. London: Routledge.
- Pitt, E. & Norton, L. (2016). ‘Now that’s the feedback I want!’ Students’ reactions to feedback on graded work and what they do with it. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 42(4), 499–516. <https://doi.org/10.1080/02602938.2016.1142500>
- Porst. (2014). *Fragebogen*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-02118-4>
- Ramaprasad, A. (1983). On the definition of feedback. *Behavioral Science*, 28(1), 4–13. <https://doi.org/10.1002/bs.3830280103>
- Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E. & Köller, O. (Hrsg.). (2016). *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. New York: Waxmann. <https://doi.org/10.25656/01:14020>
- Robinson, M. D. & Clore, G. L. (2001). Simulation, Scenarios, and Emotional Appraisal: Testing the Convergence of Real and Imagined Reactions to Emotional Stimuli. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 27(11), 1520–1532. <https://doi.org/10.1177/01461672012711012>
- Ronczkowski, E. (2021). *Digitale Chemie-Experimente*. <https://www.friedrich-verlag.de/friedrich-plus/sekundarstufe/chemie/methoden-konzepte/digitale-chemie-experimente/>
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>



- Ropohl, M. & Scheuermann, H. (2017). Abhängige Variable, unabhängige Variable, Störvariable!? Die Einführung der Variablenkontrollstrategie. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*, 28(158), 2–7.
- Ropohl, M. & Scheuermann, H. (2018). Welche Rückmeldungen wirken am besten? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 151–165.  
<https://doi.org/10.1007/s40573-018-0080-0>
- Ropohl, M. & von Aufschnaiter, C. (2021). Formative Assessment. In H. E. Fischer & R. Girwidz (Hrsg.), *Physics Education*. Cham: Springer International Publishing.
- Ropohl, M., Weimar, H., Arnold, J., Boegel, S., Kampa, N. & Opfermann, M. (2023). Der Prozess formativen Assessments beim Experimentieren: Welche Rolle spielt die kognitive Belastung? In A. Buholzer & D. Brovelli (Hrsg.), *Formatives Assessment: Perspektiven für Unterricht und Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (S. 83–99). Münster: Waxmann.
- Ross, J. A. (1988). Controlling Variables: A Meta-Analysis of Training Studies. *Review of Educational Research*, 58(4), 405–437.  
<https://doi.org/10.3102/00346543058004405>
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2018). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development and wellness*. New York; London: The Guilford Press.
- Scheerens, J. & Bosker, R. J. (1997). *The foundations of educational effectiveness*. Oxford: Pergamon.
- Scheiter, K. & Eitel, A. (2012). The effects of signals on learning from text and diagrams: How looking at diagrams earlier and more frequently improves understanding. In A. K. Goel, M. Jamnik & H. Narayanan (Hrsg.), *Diagrammatic representation and inference - 6<sup>th</sup> International Conference, Diagrams 2010* (S. 264–270). Heidelberg: Springer.
- Scheiter, K., Richter, J. & Renkl, A. (2020). Multimediales Lernen: Lehren und Lernen mit Texten und Bildern. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Lernen mit Bildungstechnologien: Praxisorientiertes Handbuch zum intelligenten Umgang mit digitalen Medien*. Berlin: Springer.
- Scheiter, K., Schubert, C., Gerjets, P. & Stalbovs, K. (2015). Does a Strategy Training Foster Students' Ability to Learn From Multimedia? *The Journal of*

- Experimental Education*, 83(2), 266–289.  
**<https://doi.org/10.1080/00220973.2013.876603>**
- Scheuermann, H. (2017). *Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten*. Berlin: Logos Verlag.
- Schiepe-Tiska, A., Schmidtner, S., Müller, K., Heine, J.-H., Neumann, K. & Lüdtke, O. (2016). Naturwissenschaftlicher Unterricht in Deutschland in PISA 2015 im internationalen Vergleich. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. New York: Waxmann.
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L. & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust? *Methodology*, 6(4), 147–151. **<https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>**
- Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.
- Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia* (S. 72–103). Cambridge: University Press. **<https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.006>**
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141–156.  
**[https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8)**
- Schulz, A., Wirtz, M. & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht: Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 15–28). Münster; München; Berlin: Waxmann.
- Seidel, T. & Shavelson, R. J. (2007). Teaching Effectiveness Research in the Past Decade: The Role of Theory and Research Design in Disentangling Meta-Analysis Results. *Review of Educational Research*, 77(4), 454–499.
- Shute, V. J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189. **<https://doi.org/10.3102/0034654307313795>**
- Sieve, B., Struckmeier, S. & Böhm, D. (2022). *Experimente im Chemieunterricht Band 1: Didaktisch begründet auswählen und sicher durchführen* (1. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer. **<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1981510>**
- Siler, S. A. & Klahr, D. (2012). Detecting, Classifying, and Remediating: Children's explicit and implicit misconceptions about experimental design. In R. W.

- Proctor & E. J. Capaldi (Hrsg.), *Psychology of Science: Implicit and Explicit Processes* (S. 137–180). Oxford: University Press.  
**<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199753628.003.0007>**
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.  
**[https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)**
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138.  
**<https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>**
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. **<https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>**
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (2005). A surprising effect of feedback on learning. *Learning and Instruction*, 15(6), 589–602.  
**<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2005.08.001>**
- Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback: Eine empirische Studie*. Berlin: Logos Verlag.
- Weinstein, C. & Mayer, R. E. (1986). The Teaching of Learning Strategies. In M. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching* (S. 315–327). New York: Macmillan.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3–118. **[https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601_2)**
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.
- Wisniewski, B. (2019). Feedback digital: Möglichkeiten für eine Verbesserung der Lehrer-Schüler-Beziehung. In V. Busse, R. Bloch, L. Haag, S. Wernke, B. Wisniewski & K. Zierer (Hrsg.), *Feedback* (S. 58–61). Seelze: Friedrich Verlag GmbH.
- Wisniewski, B., Zierer, K. & Hattie, J. (2020). The Power of Feedback Revisited: A Meta-Analysis of Educational Feedback Research. *Frontiers in psychology*, 10(3087). **<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03087>**
- Wollenschläger, M. (2012). *Effekte kompetenziellen Feedbacks auf Performanz (wissenschaftliches Denken), Motivation und Metakognition von Lernenden der Sekundarstufe I*.

- Wollenschläger, M., Möller, J. & Harms, U. (2011). Effekte kompetenzieller Rückmeldung beim wissenschaftlichen Denken. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 25(3), 197–202. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000040>
- Wollenschläger, M., Möller, J. & Harms, U. (2012). Ist kompetenzielles Fremdfeedback überlegen, weil es als effektiver wahrgenommen wird? *Unterrichtswissenschaft*, 40(3), 197–212.

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Übersicht zu gestalterischen und inhaltlichen Merkmalen von Feedback	13
Tabelle 2: Überblick über relevante Studien.....	14
Tabelle 3: Bewertungsschema für die Bewertung der Experimentplanung .....	46
Tabelle 4: Qualitätsstufen der Experimentplanung hinsichtlich der Anwendung der Variablenkontrollstrategie (Scheuermann, 2017) .....	47
Tabelle 5: Rückmeldesätze für den Lernstand und die nächsten Schritte .....	49
Tabelle 6: Übersicht über die Testinstrumente der ersten Untersuchung.....	50
Tabelle 7: Vergleich der Reliabilitäten der Subskalen der Kurzskala intrinsischer Motivation .....	54
Tabelle 8: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse der Verbesserungsvorschläge der ersten Untersuchung.....	59
Tabelle 9: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse der Verbesserung sprachlich schwieriger Formulierungen der ersten Untersuchung .....	59
Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Kontrollvariablen der ersten Untersuchung.....	60
Tabelle 11: Darstellung der Mittelwerte der Items zum Umgang mit Feedback im Chemieunterricht (Mang et al., 2019) .....	61
Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback der ersten Untersuchung .....	61
Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Qualitätsstufe der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback der ersten Untersuchung .....	62
Tabelle 14: Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse des Einschätzungsbogens zur Erfassung unterstützender Feedbackmerkmale der ersten Untersuchung .....	66
Tabelle 15: Mittelwerte der Items des Faktors Gestaltung .....	67
Tabelle 16: Mittelwerte der Items des Faktors Inhalt .....	67
Tabelle 17: Schwierigkeitsindizes der Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale der ersten Untersuchung .....	68
Tabelle 18: Darstellung der Mittelwerte der Testinstrumente zum Erfassen des Cognitive Load der ersten Untersuchung.....	69
Tabelle 19: Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse des Instruments zur intrinsischen Motivation (Wilde et al., 2009) .....	70
Tabelle 20: Darstellung der Mittelwerte der Subskalen der intrinsischen Motivation der ersten Untersuchung .....	70
Tabelle 21: Mittelwerte der Items zur wahrgenommenen Kompetenzunterstützung durch Feedback (Bürgermeister et al., 2011) .....	71

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 22: Ergebnisse der Regression zum Zusammenhang von Cognitive Load, Motivation, wahrgenommener Kompetenzunterstützung und Gestaltung und Inhalt der ersten Untersuchung .....	72
Tabelle 23: Ergebnisse der ANCOVA der ersten Untersuchung.....	73
Tabelle 24: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die Verbesserungsvorschläge pro Untersuchungsgruppe der ersten Untersuchung.....	74
Tabelle 25: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die Verbesserung sprachlich schwieriger Formulierungen pro Untersuchungsgruppe der ersten Untersuchung .....	75
Tabelle 26: Übersicht über das Testdesign und die Testinstrumente der zweiten Untersuchung .....	96
Tabelle 27: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse zu bereits gelungenen Charakteristika des Feedbacks der zweiten Untersuchung .....	100
Tabelle 28: Kategoriensystem für die qualitative Inhaltsanalyse zu noch zu verbessernden Charakteristika des Feedbacks der zweiten Untersuchung.....	101
Tabelle 29: Deskriptive Statistik der Kontrollvariablen der zweiten Untersuchung	102
Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen der erreichten Punkte und der Qualitätsstufe der Experimentplanung mit Feedback der zweiten Untersuchung....	103
Tabelle 31: Ergebnisse des Games-Howell post-hoc Tests zur Analyse der Qualität der neu geschriebenen Experimentplanung abhängig vom Feedback gemessen an der erreichten Punktzahl der zweiten Untersuchung.....	104
Tabelle 32: Darstellung der Mittelwerte der Variablen zum Cognitive Load der zweiten Untersuchung.....	106
Tabelle 33: Darstellung der Mittelwerte der Variable Motivation getrennt nach den Untersuchungsgruppen der zweiten Untersuchung.....	107
Tabelle 34: Mittelwerte der Items zur wahrgenommenen Unterstützung durch Feedback (Bürgermeister et al., 2011) .....	108
Tabelle 35: Ergebnisse des Tukey-HSD post-hoc Test der zweiten Untersuchung.	109
Tabelle 36: Schwierigkeitsindizes der Items zur Bewertung unterstützender Feedbackmerkmale getrennt nach den vier Untersuchungsgruppen der zweiten Untersuchung .....	116
Tabelle 37: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die bereits gut gelungenen Charakteristika des Feedbacks pro Untersuchungsgruppe der zweiten Untersuchung .....	117
Tabelle 38: Relative Häufigkeit der Codings pro Ausprägung für die noch verbesserungswürdigen Charakteristika des Feedbacks pro Untersuchungsgruppe der zweiten Untersuchung.....	118

Tabelle 39: Übersicht über die Testinstrumente der dritten Untersuchung.....	134
Tabelle 40: Zuordnung des Merkmals der Experimentplanung zur Aufgabenstellung eines jeden Items des Testinstruments beispielhaft für das erste Thema „Backtriebmittel“ .....	137
Tabelle 41: Interviewfragen des ersten Teils des Leitfadeninterviews der dritten Untersuchung .....	139
Tabelle 42: Interviewfragen des zweiten Teils des Leitfadeninterviews der dritten Untersuchung .....	140
Tabelle 43: Cronbach´s $\alpha$ und Schwierigkeitsindex pro Indikatorvariable .....	143
Tabelle 44: Cronbach´s $\alpha$ , Schwierigkeitsindex und mittlere Qualitätsstufe pro Thema.....	144
Tabelle 45: Cronbachs $\alpha$ und Schwierigkeitsindex pro Testheftversion .....	144
Tabelle 46: Deskriptive Statistik der Kontrollvariablen der dritten Untersuchung..	147
Tabelle 47: Cronbachs $\alpha$ und Schwierigkeitsindex pro Testheftversion der dritten Untersuchung .....	151
Tabelle 48: Statistische Kennwerte der konfirmatorischen Faktorenanalyse der dritten Untersuchung.....	152
Tabelle 49: Statistische Kennwerte der Testinstrumente der Kontrollvariablen sowie der schriftlichen Experimentplanung der Teilnehmenden des Interviews der dritten Untersuchung .....	157





**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Die neun Arbeitsweisen nach Rönnebeck et al. (2016).....	7
Abbildung 2: Prozess formativen Assessments am Beispiel des Planens eines Experiments (Ropohl & von Aufschnaiter, 2021; Scheuermann, 2017) .....	12
Abbildung 3: Übersicht über die Designs der drei Untersuchungen .....	36
Abbildung 4: Sachliches Feedback der ersten Untersuchung.....	41
Abbildung 5: Motivierendes Feedback der ersten Untersuchung.....	42
Abbildung 6: Graphisches Feedback der ersten Untersuchung .....	43
Abbildung 7: Forscherbogen zur schriftlichen Erhebung der Experimentplanung ....	45
Abbildung 8: Fehlerbalkendiagramm zur Darstellung der Ergebnisse der gemischten ANOVA der erreichten Punkte der Experimentplanung vor und nach dem Erhalten von Feedback der ersten Untersuchung (95% KI) .....	62
Abbildung 9: Gestapeltes Säulendiagramm der erreichten Qualitätsstufen in der Experimentplanung nach dem Erhalten von Feedback in Abhängigkeit von der Untersuchungsgruppe der ersten Untersuchung.....	63
Abbildung 10: Multiple lineare Regression zum Einfluss von Fachwissen, kognitiven Fähigkeiten und Wissen über die VKS auf die Qualität der Experimentplanung der ersten Untersuchung.....	64
Abbildung 11: Feedback der Vergleichsgruppe der zweiten Untersuchung .....	92
Abbildung 12: Nur-Text Feedback der zweiten Untersuchung .....	93
Abbildung 13: Nur-Bild Feedback der zweiten Untersuchung.....	94
Abbildung 14: Text-Bild Feedback der zweiten Untersuchung .....	95
Abbildung 15: Mediatormodell für eine multikategoriale unabhängige Variable .....	99
Abbildung 16: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse zur Untersuchung der Qualität der neu geschriebenen Experimentplanungen in Abhängigkeit vom Feedback der zweiten Untersuchung (95% KI) .....	104
Abbildung 17: Gestapeltes Säulendiagramm der erreichten Qualitätsstufen in der neu geschriebenen Experimentplanung in Abhängigkeit vom Feedback der zweiten Untersuchung .....	105
Abbildung 18: Multiple lineare Regression zum Einfluss von Fachwissen, kognitiven Fähigkeiten und Wissen über die Variablenkontrollstrategie auf die Qualität der Experimentplanung der zweiten Untersuchung .....	106
Abbildung 19: Mediatormodell für die investierte Denkanstrengung der zweiten Untersuchung .....	111
Abbildung 20: Mediatormodell für die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit der zweiten Untersuchung.....	112
Abbildung 21: Mediatormodell für die Motivation der zweiten Untersuchung.....	113

Abbildung 22: Mediatormodell für die wahrgenommene Unterstützung der zweiten Untersuchung .....	114
Abbildung 23: Ablaufmodell der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) .....	142
Abbildung 24: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen.....	146
Abbildung 25: Gestapeltes Säulendiagramm der erreichten Qualitätsstufen in der neu geschriebenen Experimentplanung der dritten Untersuchung .....	148
Abbildung 26: Multiple lineare Regression zum Einfluss von Fachwissen, kognitiven Fähigkeiten und Wissen über die Variablenkontrollstrategie auf die Qualität der Experimentplanung der dritten Untersuchung .....	148
Abbildung 27: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung der Ausprägung des Cognitive Load gemessen an der investierte Denkanstrengung der dritten Untersuchung (95% KI) .....	150
Abbildung 28: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung der Ausprägung des Cognitive Load gemessen an der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit der dritten Untersuchung (95% KI) .....	150
Abbildung 29: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 0 der dritten Untersuchung .....	153
Abbildung 30: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 1 der dritten Untersuchung .....	153
Abbildung 31: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 2 der dritten Untersuchung .....	153
Abbildung 32: Einfaktorielles Modell des Testinstruments zum Messen der Kompetenz zum Planen eines Experiments unter Anwendung der VKS inklusive Faktorladungen zu Messzeitpunkt 3 der dritten Untersuchung .....	154
Abbildung 33: Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung der Ausprägung der Planungskompetenz gemessen an der Qualitätsstufe der dritten Untersuchung (95% KI) .....	155
Abbildung 34: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Text-Bild Feedback für den Einsatz im Self-Assessment.....	174

**Anhang**

<b>A</b>	<b>Kontrollvariable – Wissen über die Variablenkontrollstrategie</b>	198
<b>B</b>	<b>Material Untersuchung 1</b>	212
<b>C</b>	<b>Material Untersuchung 2</b>	227
<b>D</b>	<b>Material Untersuchung 3</b>	235
<b>E</b>	<b>Kategoriensystem und Kodiermanual für die Auswertung der Interviews aus Untersuchung 3</b>	248
<b>F</b>	<b>Veröffentlichungen und Vorträge</b>	254

## **A Kontrollvariable – Wissen über die Variablenkontrollstrategie**

### **Wissen über die Variablenkontrollstrategie**

Auf den folgenden Seiten findest du Aufgaben aus dem Themenbereich „**Ionen und Salze**“. In jeder Aufgabe sind vier Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Aber **nur eine der Antwortmöglichkeiten ist richtig!**

Bitte lies dir die Aufgaben genau durch, bevor du eine Antwortmöglichkeit ankreuzt. Kreuze die Antwort an, die deiner Meinung nach richtig ist. Wenn dir zu einer Aufgabe nicht gleich die richtige Antwort einfällt, ist das nicht schlimm. Kreuze dann bitte die Antwortmöglichkeit an, die dir am wahrscheinlichsten erscheint. **Versuche bitte alle Aufgaben zu bearbeiten.**

Wenn du dich beim Ankreuzen vertan haben solltest, dann streiche das angekreuzte Kästchen komplett durch und das deiner Meinung nach richtige Kästchen an:

- Antwortmöglichkeit A
- Antwortmöglichkeit B
- Antwortmöglichkeit C
- Antwortmöglichkeit D

Leitfähigkeit 1

Die Eigenschaften von Wasser ändern sich, sobald ein Salz im Wasser gelöst ist. Salze bestehen aus Ionen, die positiv und negativ geladen sind. In fester Form leiten Salze keinen elektrischen Strom. Jan und Laura haben ein Experiment zu den Eigenschaften von Salzlösungen durchgeführt. Dazu haben sie zwei Wannen mit jeweils 500 mL Wasser gefüllt und zwei Elektroden eingehängt, die über einen Stromkreis miteinander verbunden sind. An diesem Stromkreis befindet sich eine Lampe, die leuchtet, wenn ein Strom fließt. In eine der beiden Wannen (Abb. 1) geben Jan und Laura 20 g Kochsalz; in eine zweite geben sie nichts weiter (Abb. 2).

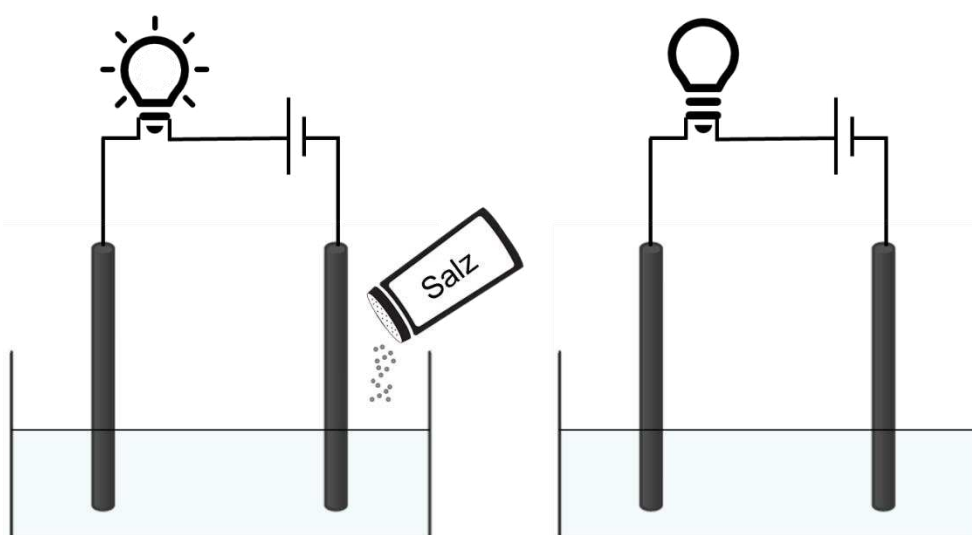


Abb. 1: Destilliertes Wasser + Kochsalz

Abb. 2: Nur Destilliertes Wasser

Welche Vermutung liegt dem Experiment von Jan und Laura zu Grunde? Kreuze an.

Die Zugabe von Salz beeinflusst die elektrische Leitfähigkeit der Lösung.	<input type="checkbox"/>
Salze in fester Form leiten keinen elektrischen Strom.	<input type="checkbox"/>
Wenn ein Strom fließt, leuchtet die Lampe, die sich am Stromkreis befindet.	<input type="checkbox"/>
Salze bestehen aus Ionen, die positiv und negativ geladen sind.	<input type="checkbox"/>

Created with Chemix (<https://chemix.org>)

Gefrierpunkt 1

Die Eigenschaften von Wasser ändern sich, sobald ein Salz im Wasser gelöst ist. Jan und Laura führen ein Experiment durch, bei dem sie zwei Bechergläser mit Wasser füllen und zudem mit Thermometern bestücken. In einem Becherglas befindet sich außerdem das Salz Ammoniumnitrat, im anderen nicht. Beide Bechergläser stellen sie in das Gefrierfach. Nach zwei Stunden messen sie die Temperatur beider Lösungen und untersuchen, in welchem Becherglas die Lösung gefroren ist.

<p><b>Inhalt von Becherglas 1</b>  V = 1000 mL Wasser  Ammoniumnitrat m = 200 g  Temperatur des Wassers vor der Zugabe:  T=20° C</p>	<p><b>Inhalt von Becherglas 2</b>  V = 1000 mL Wasser    Temperatur des Wassers vor der Zugabe:  T = 20° C</p>
--	--

Welche Vermutung liegt dem Experiment von Jan und Laura zu Grunde? Kreuze an.

Der Gefrierpunkt von Wasser ist abhängig von der Konzentration von Ammoniumnitrat.	<input type="checkbox"/>
Die Temperatur von Wasser ist abhängig von der Zugabe von Ammoniumnitrat.	<input type="checkbox"/>
Die Temperatur von Wasser ist abhängig von der Konzentration von Ammoniumnitrat.	<input type="checkbox"/>
Der Gefrierpunkt von Wasser ist abhängig von der Zugabe von Ammoniumnitrat.	<input type="checkbox"/>

Leitfähigkeit 2

Die Leitfähigkeit von Wasser ändert sich, sobald ein Salz im Wasser gelöst ist. Wie stark die Änderung der Leitfähigkeit ist, hängt unter anderem von der Temperatur der Lösung und der Konzentration des Salzes ab. Dabei bestehen Salze aus Ionen, die positiv ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) und negativ ( $\text{Cl}^-$ ) geladen sind. Manche Salze bestehen aus mehr Ionen als andere. Jan und Laura führen ein Experiment zu den Eigenschaften von Salzlösungen durch. Dazu lösen sie in drei der Ansätze jeweils die gleiche Stoffmenge von Natriumchlorid ( $\text{NaCl}$ ), Magnesiumchlorid ( $\text{MgCl}_2$ ) und Aluminiumchlorid ( $\text{AlCl}_3$ ) in Wasser. Mit Hilfe dieser Ansätze überprüfen sie, wie groß die Leitfähigkeit der Lösung ist.

<b>Ansatz 1</b> destilliertes Wasser: $V = 500 \text{ mL}$ Stoffmenge ( $\text{NaCl}$ ): $n = 0,1 \text{ mol}$ $T = 20^\circ \text{ C}$	<b>Ansatz 2</b> destilliertes Wasser: $V = 500 \text{ mL}$ Stoffmenge ( $\text{MgCl}_2$ ): $n = 0,1 \text{ mol}$ $T = 20^\circ \text{ C}$	<b>Ansatz 3</b> destilliertes Wasser: $V = 500 \text{ mL}$ Stoffmenge ( $\text{AlCl}_3$ ): $n = 0,1 \text{ mol}$ $T = 20^\circ \text{ C}$
--	--	--

Welche Vermutung liegt dem Experiment von Jan und Laura zu Grunde? Kreuze an.

Je höher die Konzentration der Lösung ist, desto höher ist ihre Leitfähigkeit.	<input type="checkbox"/>
Je höher die Temperatur der Lösung ist, desto höher ist ihre Leitfähigkeit.	<input type="checkbox"/>
Je höher die Stoffmenge des gelösten Salzes ist, desto höher ist ihre Leitfähigkeit.	<input type="checkbox"/>
Je höher die Anzahl der geladenen Ionen in der Lösung ist, desto höher ist ihre Leitfähigkeit.	<input type="checkbox"/>

Gefrierpunkt 2

Die Eigenschaften von Wasser ändern sich, sobald ein Salz im Wasser gelöst ist. Jan und Laura wollen im Unterricht vor den Sommerferien Speiseeis herstellen und haben beide unterschiedliche Ideen, wie sie das machen können. Um herauszufinden, welche Idee besser funktioniert, führen sie ein Experiment durch. Dazu haben sie zwei Plastikwannen mit jeweils 100 g zerkleinerten Eiswürfeln befüllt. In eine der beiden Wannen geben sie 21 g Kochsalz (Abb. 1), in eine nicht (Abb. 2). In zwei Edelstahlschüsseln verrühren sie jeweils 250 mL Milch, 120 g Zucker, 400 g Sahne und 4 Eier miteinander. Die Edelstahlschüsseln stellen sie nun in die Plastikwannen und messen die Zeit, bis das Speiseeis gefriert.

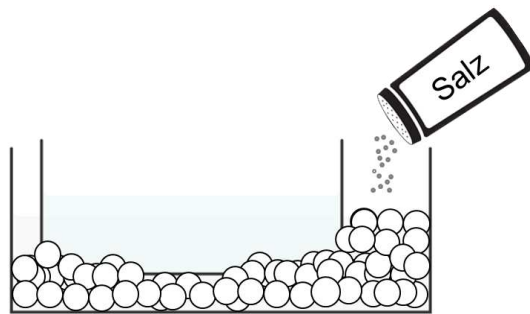


Abb.1: Eiswürfel + Kochsalz



Abb.2: Nur Eiswürfel

Welche Vermutung liegt dem Experiment von Jan und Laura zu Grunde? Kreuze an.

Das Speiseeis gefriert schneller, wenn Salz zu den zerkleinerten Eiswürfeln gegeben wird, da Salz den Gefrierpunkt der umgebenden Mischung senkt.	<input type="checkbox"/>
Durch die Zugabe des Salzes zu den Eiswürfeln wird eine Kältemischung hergestellt.	<input type="checkbox"/>
Wird Kochsalz durch ein anderes Salz ersetzt, ist eine andere Temperatur dieser Mischung messbar.	<input type="checkbox"/>
Je mehr Salz in die umgebende Mischung gegeben wird, desto schneller gefriert das Speiseeis.	<input type="checkbox"/>

Created with Chemix (<https://chemix.org>)



Löslichkeit 1

Die Löslichkeit verschiedener Salze in Wasser ist unterschiedlich. Jan und Laura führen ein Experiment zur Löslichkeit von verschiedenen Salzen in destilliertem Wasser durch. Sie wollen die Löslichkeit von Natriumchlorid (NaCl), Kaliumchlorid (KCl) und Calciumchlorid (CaCl<sub>2</sub>) untersuchen. Hierzu füllen sie drei Bechergläser mit je 100 mL destilliertem Wasser. Sie geben solange löffelweise das jeweilige Salz zum destillierten Wasser in das Becherglas hinzu und rühren um, bis es sich nicht mehr löst. Der Tabelle kannst du entnehmen, wie viel Gramm des jeweiligen Salzes in 100 mL destilliertem Wasser gelöst werden kann.

Tab.1: Löslichkeiten der verschiedenen Salze.

<b>Becherglas 1</b>	<b>Becherglas 2</b>	<b>Becherglas 3</b>
100 mL destilliertes Wasser	100 mL destilliertes Wasser	100 mL destilliertes Wasser
36 g NaCl	34 g KCl	75 g CaCl <sub>2</sub>

Welche Vermutung liegt dem Experiment von Jan und Laura zu Grunde? Kreuze an.

Das Volumen des destillierten Wassers beeinflusst, wie viel Salz darin gelöst werden kann.	<input type="checkbox"/>
In 100 mL destilliertem Wasser kann unterschiedlich viel Natriumchlorid (NaCl), Kaliumchlorid (KCl) und Calciumchlorid (CaCl <sub>2</sub> ) gelöst werden.	<input type="checkbox"/>
Das Volumen des destillierten Wassers hat keinen Einfluss darauf, wie viel Salz darin gelöst werden kann.	<input type="checkbox"/>
In 100 mL destilliertem Wasser kann gleich viel Natriumchlorid (NaCl), Kaliumchlorid (KCl) und Calciumchlorid (CaCl <sub>2</sub> ) gelöst werden.	<input type="checkbox"/>

## Anhang

### Schwarzpulver 1

Schwarzpulver ist ein häufig verwendeter Sprengstoff. Jan und Laura beschäftigen sich mit Schwarzpulver. Sie vermuten, dass Schwefel für eine Entzündung des Schwarzpulvers notwendig ist. Um diese Vermutung zu überprüfen, führen sie ein Experiment durch. Ihnen stehen dafür mehrere Ansätze zur Verfügung. Welchen Ansatz müssen sie wählen, um ihr Experiment in Bezug auf ihre Vermutung durchführen zu können?

Ansatz 1	
<u>Mischung 1</u>	<u>Mischung 2</u>
Kaliumnitrat: $m = 75 \text{ g}$	Kaliumnitrat: $m = 75 \text{ g}$
<b>Schwefel: <math>m = 10 \text{ g}</math></b>	<b>Schwefel: <math>m = 0 \text{ g}</math></b>
Holzkohle: $m = 15 \text{ g}$	Holzkohle: $m = 15 \text{ g}$

Ansatz 2	
<u>Mischung 1</u>	<u>Mischung 2</u>
<b>Kaliumnitrat: <math>m = 175 \text{ g}</math></b>	<b>Kaliumnitrat: <math>m = 75 \text{ g}</math></b>
<b>Schwefel: <math>m = 10 \text{ g}</math></b>	<b>Schwefel: <math>m = 0 \text{ g}</math></b>
<b>Holzkohle: <math>m = 25 \text{ g}</math></b>	<b>Holzkohle: <math>m = 15 \text{ g}</math></b>

Ansatz 3	
<u>Mischung 1</u>	<u>Mischung 2</u>
Kaliumnitrat: $m = 75 \text{ g}$	Kaliumnitrat: $m = 75 \text{ g}$
Schwefel: $m = 10 \text{ g}$	Schwefel: $m = 10 \text{ g}$
Holzkohle: $m = 15 \text{ g}$	Holzkohle: $m = 15 \text{ g}$

Ansatz 4	
<u>Mischung 1</u>	<u>Mischung 2</u>
<b>Kaliumnitrat: <math>m = 175 \text{ g}</math></b>	<b>Kaliumnitrat: <math>m = 75 \text{ g}</math></b>
Schwefel: $m = 10 \text{ g}$	Schwefel: $m = 10 \text{ g}$
<b>Holzkohle: <math>m = 15 \text{ g}</math></b>	<b>Holzkohle: <math>m = 10 \text{ g}</math></b>

Jan und Laura nehmen...

Ansatz 1	<input type="checkbox"/>
Ansatz 2	<input type="checkbox"/>
Ansatz 3	<input type="checkbox"/>
Ansatz 4	<input type="checkbox"/>

Siedepunkt

Die Eigenschaften von Wasser ändern sich, sobald ein Salz darin gelöst ist. Jan und Laura vermuten, dass die Zugabe von Kochsalz den Siedepunkt von Wasser erhöht. Um diese Vermutung zu überprüfen, führen sie ein Experiment durch. Dazu stehen ihnen zwei Bechergläser mit Thermometern zur Verfügung, in denen sie das Wasser auf zwei Heizplatten bis zum Sieden erhitzen. Welchen Ansatz müssen sie wählen, um ihr Experiment in Bezug auf ihre Vermutung durchführen zu können? Kreuze an.

Ansatz 1	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
<b>Wasser: V = 200 mL</b>	<b>Wasser: V = 500 mL</b>
<b>Kochsalz: m = 5 g</b>	<b>Kochsalz: m = 2,5 g</b>
Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C	Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C
Ansatz 2	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: V = 400 mL	Wasser: V = 400 mL
<b>Kochsalz: m = 2,5 g</b>	<b>Kochsalz: m = 5 g</b>
Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C	Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C
Ansatz 3	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: V = 500 mL	Wasser: V = 500 mL
<b>Kochsalz: m = 5 g</b>	<b>Kochsalz: m = 0 g</b>
Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C	Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C
Ansatz 4	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
<b>Wasser: V = 500 mL</b>	<b>Wasser: V = 400 mL</b>
Kochsalz: m = 6,5 g	Kochsalz: m = 6,5 g
Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C	Temperatur des Wassers vor dem Erhitzen: T = 15°C

Jan und Laura nehmen...

Ansatz 1	<input type="checkbox"/>
Ansatz 2	<input type="checkbox"/>
Ansatz 3	<input type="checkbox"/>
Ansatz 4	<input type="checkbox"/>

## Anhang

### Dichte

Die Eigenschaften von Wasser ändern sich, sobald ein Salz im Wasser gelöst ist. Hat ein Gegenstand eine höhere Dichte als Wasser, sinkt er nach unten, hat er eine niedrigere Dichte als Wasser, steigt er auf. Jan und Laura vermuten, dass die Zugabe von Kochsalz die Dichte der Wasser-Salz-Lösung erhöht. Um diese Vermutung zu überprüfen, führen sie ein Experiment durch. Dazu stehen Ihnen zwei Bechergläser zur Verfügung, die sie mit Wasser füllen. In beide Bechergläser geben sie ein Ei und beobachten, ob dieses Ei schwimmt oder sinkt. Welchen Ansatz müssen sie wählen, um ihr Experiment in Bezug auf ihre Vermutung durchführen zu können? Kreuze an.

Ansatz 1	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: $V = 500 \text{ mL}$	Wasser: $V = 500 \text{ ml}$
<b>Salz: <math>m = 150 \text{ g}</math></b>	<b>Salz: <math>m = 75 \text{ g}</math></b>

Ansatz 2	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
<b>Wasser: <math>V = 500 \text{ mL}</math></b>	<b>Wasser: <math>V = 250 \text{ mL}</math></b>
Salz: $m = 150 \text{ g}$	Salz: $m = 150 \text{ g}$

Ansatz 3	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
<b>Wasser: <math>V = 500 \text{ mL}</math></b>	<b>Wasser: <math>V = 250 \text{ mL}</math></b>
<b>Salz: <math>m = 150 \text{ g}</math></b>	<b>Salz: <math>m = 0 \text{ g}</math></b>

Ansatz 4	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: $V = 500 \text{ mL}$	Wasser: $V = 500 \text{ mL}$
<b>Salz: <math>m = 0 \text{ g}</math></b>	<b>Salz: <math>m = 150 \text{ g}</math></b>

Jan und Laura nehmen...

Ansatz 1	<input type="checkbox"/>
Ansatz 2	<input type="checkbox"/>
Ansatz 3	<input type="checkbox"/>
Ansatz 4	<input type="checkbox"/>

Löslichkeit 2

Die Löslichkeit von Salzen in Wasser ist bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich. Jan und Laura beschäftigen sich mit der Löslichkeit von Kaliumnitrat ( $\text{KNO}_3$ ) in destilliertem Wasser. Sie vermuten, dass die Löslichkeit von Kaliumnitrat zunimmt, wenn die Temperatur ansteigt. Dazu stehen ihnen zwei Bechergläser mit destilliertem Wasser zur Verfügung, welche sie auf einem Dreifuß über einem Bunsenbrenner erhitzen. Anschließend geben sie Kaliumnitrat hinzu. Welchen Ansatz müssen sie wählen, um ihr Experiment in Bezug auf ihre Vermutung durchführen zu können? Kreuze an.

Ansatz 1	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
<b>Wasser: V = 100 mL</b>	<b>Wasser: V = 200 mL</b>
Kaliumnitrat: m = 30 g	Kaliumnitrat: m = 30 g
Temperatur des Wassers: T = 20°C	Temperatur des Wassers: T = 20°C
Ansatz 2	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: V = 100 mL	Wasser: V = 100 mL
<b>Kaliumnitrat: m = 30 g</b>	<b>Kaliumnitrat: m = 170 g</b>
Temperatur des Wassers: T = 20°C	Temperatur des Wassers: T = 20°C
Ansatz 3	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: V = 100 mL	Wasser: V = 100 mL
<b>Kaliumnitrat: m = 30 g</b>	<b>Kaliumnitrat: m = 170 g</b>
<b>Temperatur des Wassers: T = 20°C</b>	<b>Temperatur des Wassers: T = 80°C</b>
Ansatz 4	
<u>Becherglas 1</u>	<u>Becherglas 2</u>
Wasser: V = 100 mL	Wasser: V = 100 mL
Kaliumnitrat: m = 30 g	Kaliumnitrat: m = 30 g
<b>Temperatur des Wassers: T = 60°C</b>	<b>Temperatur des Wassers: T = 20°C</b>

Jan und Laura nehmen...

Ansatz 1	<input type="checkbox"/>
Ansatz 2	<input type="checkbox"/>
Ansatz 3	<input type="checkbox"/>
Ansatz 4	<input type="checkbox"/>

Temperaturveränderung 1

Wenn Salze in Wasser gelöst werden, verändert sich die Temperatur dieser Salzlösung. Jan und Laura beschäftigen sich mit der Löslichkeit von Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) in destilliertem Wasser. Sie vermuten, dass die Temperatur steigt, wenn Calciumchlorid in Wasser gelöst wird. Hierzu stehen ihnen zwei Reagenzgläser zur Verfügung, die mit destilliertem Wasser gefüllt sind. Anschließend geben sie Calciumchlorid hinzu und prüfen mit einem Thermometer die Temperatur. Welchen Ansatz müssen sie wählen, um ihr Experiment in Bezug auf ihre Vermutung durchführen zu können? Kreuze an.

Ansatz 1	
<u>Reagenzglas 1</u>	<u>Reagenzglas 2</u>
Wasser: $V = 5 \text{ mL}$	Wasser: $V = 5 \text{ mL}$
$\text{CaCl}_2$ : $m = 3 \text{ g}$	$\text{CaCl}_2$ : $m = 3 \text{ g}$

Ansatz 2	
<u>Reagenzglas 1</u>	<u>Reagenzglas 2</u>
Wasser: $V = 5 \text{ mL}$	Wasser: $V = 5 \text{ mL}$
<b><math>\text{CaCl}_2</math>: <math>m = 3 \text{ g}</math></b>	<b><math>\text{CaCl}_2</math>: <math>m = 0 \text{ g}</math></b>

Ansatz 3	
<u>Reagenzglas 1</u>	<u>Reagenzglas 2</u>
Wasser: $V = 5 \text{ mL}$	Wasser: $V = 5 \text{ mL}$
$\text{CaCl}_2$ : $m = 0 \text{ g}$	$\text{CaCl}_2$ : $m = 0 \text{ g}$

Ansatz 4	
<u>Reagenzglas 1</u>	<u>Reagenzglas 2</u>
<b>Wasser: <math>V = 10 \text{ mL}</math></b>	<b>Wasser: <math>V = 5 \text{ mL}</math></b>
$\text{CaCl}_2$ : $m = 3 \text{ g}$	$\text{CaCl}_2$ : $m = 3 \text{ g}$

Jan und Laura nehmen...

Ansatz 1	<input type="checkbox"/>
Ansatz 2	<input type="checkbox"/>
Ansatz 3	<input type="checkbox"/>
Ansatz 4	<input type="checkbox"/>

Leitfähigkeit 3

Die Eigenschaften von Wasser ändern sich, sobald ein Salz im Wasser gelöst ist. Salze bestehen aus Ionen, die positiv und negativ geladen sind. In fester Form leiten Salze keinen elektrischen Strom. Jan und Laura haben ein Experiment zu den Eigenschaften von Salzlösungen durchgeführt. Dazu haben sie eine Wanne mit 500 mL Wasser gefüllt und zwei Elektroden eingehängt, die über einen Stromkreis miteinander verbunden sind. An diesem Stromkreis befindet sich eine Lampe, die leuchtet, wenn ein Strom fließt. In die Wanne (Abb. 1) geben Jan und Laura 20 g Kochsalz. Sie vermuten, dass die Zugabe von Salz die elektrische Leitfähigkeit der Lösung beeinflusst und deshalb die Lampe des Versuchsaufbaus in Abb.1 zu leuchten beginnt.

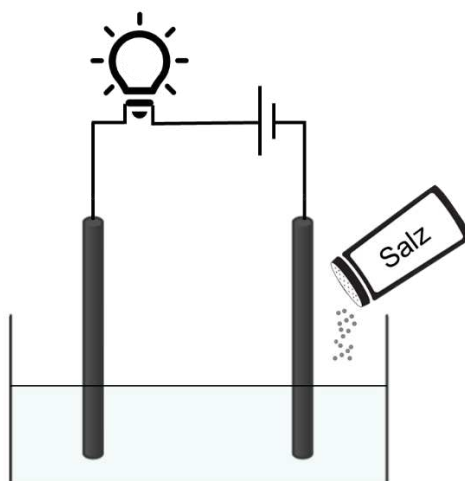


Abb. 1: Versuchsaufbau

Damit Jan und Laura ihr Ergebnis bestätigen können, wiederholen sie das oben beschriebene Hauptexperiment und führen es zusätzlich leicht verändert durch.

Wie können Jan und Laura das Hauptexperiment leicht verändert durchführen?

Kreuze an.

Es kann ein anderes Metall für die Elektroden gewählt werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein Versuchsaufbau ohne Kochsalz gemacht werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein anderes Volumen des destillierten Wassers gewählt werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann anstelle der Glühlampe ein kleiner Motor in den Stromkreis eingebaut werden.	<input type="checkbox"/>

Created with Chemix (<https://chemix.org>)

## Schwarzpulver 2

Schwarzpulver ist ein häufig verwendeter Sprengstoff und findet auch in Feuerwerkskörpern Verwendung. Jan und Laura führen ein Experiment zur Herstellung von Schwarzpulver durch. Hierzu mischen sie in einem Becherglas 75 g Kaliumnitrat und 15 g Holzkohle. Außerdem geben Jan und Laura 10 g Schwefel hinzu (Abb.1), da sie vermuten, dass Schwefel für eine Entzündung des Schwarzpulvers notwendig ist.

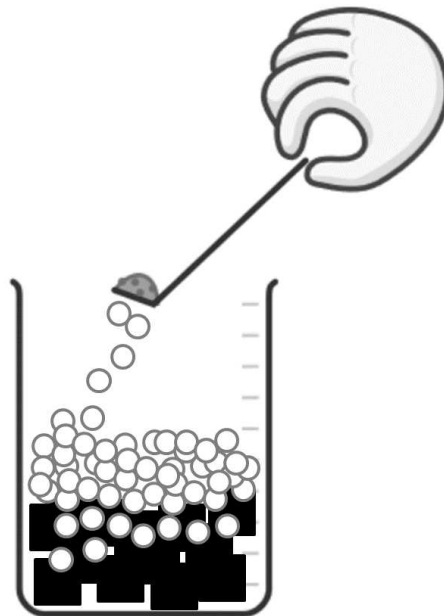


Abb.1: Versuchsansatz

Damit Jan und Laura ihr Ergebnis bestätigen können, wiederholen sie das oben beschriebene Hauptexperiment und führen es zusätzlich leicht verändert durch.

Wie können Jan und Laura das Hauptexperiment leicht verändert durchführen?

Kreuze an.

Es kann eine andere Masse an Kaliumnitrat hinzugegeben werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann eine andere Masse an Holzkohle hinzugegeben werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein Ansatz ohne Schwefel hergestellt werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein Ansatz ohne Holzkohle hergestellt werden.	<input type="checkbox"/>

Created with Chemix (<https://chemix.org>)



Temperaturveränderung 2

Wenn Salze in Wasser gelöst werden, verändert sich die Temperatur dieser Salzlösung. Jan und Laura beschäftigen sich mit der Löslichkeit von Kaliumchlorid (KCl) in destilliertem Wasser und führen dazu ein Experiment durch. Hierzu geben sie 50 mL destilliertes Wasser und 10 g Kaliumchlorid in ein Becherglas und versehen dieses mit einem Thermometer. Sie vermuten, dass die Temperatur sinkt, wenn Kaliumchlorid in Wasser gelöst wird.

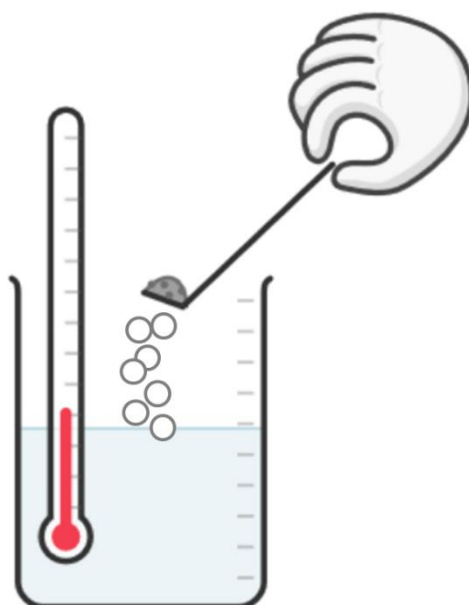


Abb.1: Versuchsansatz

Damit Jan und Laura ihr Ergebnis bestätigen können, wiederholen sie das oben beschriebene Hauptexperiment und führen es zusätzlich leicht verändert durch.

Wie können Jan und Laura das Hauptexperiment leicht verändert durchführen?

Kreuze an.

Es kann ein Ansatz mit Natriumchlorid hergestellt werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein Ansatz mit Leitungswasser hergestellt werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein Ansatz mit 100 mL destilliertem Wasser hergestellt werden.	<input type="checkbox"/>
Es kann ein Ansatz ohne Kaliumchlorid hergestellt werden.	<input type="checkbox"/>

Created with Chemix (<https://chemix.org>)

## **B Material Untersuchung 1**

Nachfolgend ist das Testheft der ersten Untersuchung dargestellt. Die Experimentplannungen werden immer auf dem Forscherbogen (Scheuermann, 2017) verschriftlicht. Die Bewertung des Feedbacks hinsichtlich unterstützender Feedbackmerkmale erfolgt mittels eigententwickelten Bewertungsbogens. Die wahrgenommene Unterstützung des Feedbacks wird mit den Items von Bürgermeister et al. 2011 und der Umgang mit Feedback im Chemieunterricht mit den Items von Mang et al. 2019 erhoben. Die Motivation wird mit der Kurzsкала intrinsischer Motivation (Wilde et al., 2009) erfasst. Der Cognitive Load wird mit Items zum Extraneous Cognitive Load (Leppink et al., 2013) und zur investierten Denkanstrengung (Paas, 1992) und wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit (Kalyuga et al., 1999) erhoben.

## 1. Sitzung


### Das Planen von Experimenten


Liebe Schüler:innen,



auf den folgenden Seiten geht es um das Planen von Experimenten. Nachstehend sollst du selbstständig ein **Experiment** zu einer vorgegebenen Frage und einer vorgegebenen Vermutung **planen**. Hierzu schreibst du auf, welche Materialien und Chemikalien du verwendest. Außerdem kreuzt du an, welche Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden müssen. Anschließend schreibst du auf, wie das Experiment durchgeführt wird. Hierfür hast du **15 Minuten** Zeit.


Viel Erfolg 😊

## EXPERIMENTPLANUNG

 Frage
Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?

 Vermutung
Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckerlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.

 Materialien	 Chemikalien

 Sicherheitsmaßnahmen				
Schutzbrille tragen	Haare zusammenbinden	Laborkittel tragen	Den Raum lüften	Auf Brandschutz achten
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



**Durchführung**

--


## 2. Sitzung

### Arbeit mit Feedback und Experimentplanung

Liebe Schüler:innen,  
nachfolgend bekommst du zu dem von dir in der letzten Stunde geplanten Experiment **Feedback**. Lese dir das Feedback gut durch und **plane** im Anschluss daran erneut ein **Experiment** zu einer vorgegebenen Frage und einer vorgegebenen Vermutung. Hierzu schreibst du auf, welche Materialien und Chemikalien du verwendest. Außerdem kreuzt du an, welche Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden müssen. Anschließend schreibst du auf, wie das Experiment durchgeführt wird. Hierfür hast du **25 Minuten** Zeit.


Viel Spaß 😊


## FEEDBACKBOGEN



 Lernziel ist, dass deine Experimentplanung folgende Merkmale enthält:
✓ Die Vermutung wird vollständig überprüft.
✓ Das Phänomen wird richtig beschrieben.
✓ Es wird ein Messinstrument eingesetzt.
✓ Der Faktor wird richtig benannt.
✓ Der Faktor wird mit genauen Angaben beschrieben.
✓ Der Faktor wird unter Angabe einer Messdauer variiert.
✓ Mindestens zwei störende Einflussfaktoren werden konstant gehalten.
✓ Eine Wiederholung und ein Parallelansatz des Experiments werden beschrieben.




## EXPERIMENTPLANUNG

 Frage
Inwiefern unterscheiden sich Kochsalz und Zucker in ihrer Löslichkeit in destilliertem Wasser?

 Vermutung
In 100 mL destilliertem Wasser kann weniger Kochsalz gelöst werden, da es aus Ionen besteht, welche in einem Ionengitter angeordnet sind und eine stabile Struktur haben.

 Materialien	 Chemikalien

 Sicherheitsmaßnahmen				
Schutzbrille tragen	Haare zusammenbinden	Laborkittel tragen	Den Raum lüften	Auf Brandschutz achten
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





**Durchführung**

Empty rectangular area for content.

### **Einschätzungen zum Feedback**

Liebe Schüler:innen,

mit den nachfolgenden Aufgaben möchte ich herausfinden, wie dir das Feedback gefallen hat. Außerdem möchte ich von dir erfahren, wie du die Unterstützung durch das Feedback einschätzt und wie ihr im Chemieunterricht mit Feedback umgeht. Bei allen folgenden Fragen handelt es sich nicht um einen Wissenstest. Es gibt also keine richtigen und falschen Antworten. Ich möchte deine persönliche Meinung erfahren. Du kannst also ganz ehrliche Antworten geben. Hierfür hast du **15 Minuten** Zeit.

Viel Spaß 😊

Bearbeite die folgenden Aufgaben zum Feedback.

2.1 Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu? Kreuze an.

Aussagen	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre für <b>welches Lernziel</b> ich die Aufgabe gemacht habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie ich das <b>Lernziel</b> der Aufgabe <b>erreichen</b> kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, was ich durch das Bearbeiten der Aufgabe <b>gelernt</b> habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie ich beim nächsten Mal noch <b>besser machen</b> kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie <b>gut</b> ich die Aufgabe gelöst habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es <b>nicht</b> zu <b>viele Informationen</b> enthält.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mir ein <b>positives Gefühl</b> gibt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich dadurch weiß, was ich <b>falsch gemacht</b> habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es in <b>schriftlicher Form</b> vorliegt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mich <b>direkt anspricht</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es Bezug zu <b>meiner Experimentplanung</b> nimmt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es <b>sprachlich gut zu verstehen</b> war.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mir <b>konkrete Beispiele</b> aufzeigt, was ich in den nächsten Schritten noch verbessern kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.2 Kennzeichne im Feedback die **Stellen**, die deine **Denkanstrengung verringern** und deine **Motivation erhöhen**. Hierzu kannst du entsprechende Aspekte markieren oder einkreisen.

In der kommenden Zeit sollen noch mehr Schüler:innen dieses Feedback erhalten.

2.3 Wie kann das Feedback so gestaltet werden, dass es deine **Denkanstrengung verringert** und deine **Motivation erhöht** wird? Schreibe jeweils **mindestens einen** Vorschlag auf!

<b><u>Vorschlag 1:</u></b>
<b><u>Vorschlag 2:</u></b>
<b><u>Vorschlag 3:</u></b>
<b><u>Vorschlag 4:</u></b>
<b><u>Vorschlag 5:</u></b>

2.4 Was würdest du an den **Formulierungen** ändern? Schreibe **mindestens zwei** Vorschläge auf!

2.5 Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zur **wahrgenommenen Unterstützung** durch das Feedback zu. Kreuze an.

Aussagen	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
Durch das Feedback habe ich erfahren, ob ich Fortschritte gemacht habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback habe ich erfahren, was ich noch verbessern könnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback fühle ich mich darin unterstützt, den Stoff, der im Experiment behandelt wurde, besser zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass mir auch schwierige Aufgaben zugetraut werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback fühle ich mich für gute Leistungen gelobt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass ich mein Wissen beim nächsten Mal umsetzen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.6 Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zum **Umgang mit Feedback** in deinem Chemieunterricht zu. Kreuze an.

Aussagen	Nie oder fast nie	In einigen Stunden	In den meisten Stunden	In jeder oder fast jeder Stunde
Die Lehrkraft informiert mich über meine Leistung im Fach Chemie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lehrkraft sagt mir, wo meine Stärken im Chemieunterricht liegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lehrkraft sagt mir, in welchen Punkten ich mich noch verbessern kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lehrkraft sagt mir, wie ich meine Leistungen verbessern kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lehrkraft berät mich, wie ich meine Lernziele erreichen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### **Lernenden-Merkmale beim Lernen mit Feedback**

Liebe Schüler:innen,  
die nachfolgenden Aufgaben dienen dazu herauszufinden, wie motiviert du bist und wie stark du nachdenken musst während du mit dem obigen Feedback lernst. Bei allen folgenden Fragen handelt es sich nicht um einen Wissenstest. Es gibt also keine richtigen und falschen Antworten. Ich möchte deine persönliche Meinung erfahren. Du kannst also ganz ehrliche Antworten geben. Hierfür hast du **10 Minuten** Zeit.

Auf geht's 😊

3.1 Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu **deiner Motivation** bei der Arbeit mit dem Feedback zu. Kreuze an.

Aussagen	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
Das Lernen mit dem Feedback hat mir Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das Lernen mit dem Feedback sehr interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Lernen mit dem Feedback war unterhaltsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit meiner Leistung beim Lernen mit dem Feedback bin ich zufrieden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Lernen mit dem Feedback stellte ich mich geschickt an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, ich war beim Lernen mit dem Feedback ziemlich gut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich konnte das Lernen mit dem Feedback selbst steuern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Lernen mit dem Feedback konnte ich wählen, wie ich es mache.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Lernen mit dem Feedback konnte ich so vorgehen, wie ich es wollte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Lernen mit dem Feedback fühlte ich mich unter Druck.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim Lernen mit dem Feedback fühlte ich mich angespannt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte Bedenken, ob ich das Lernen mit dem Feedback gut hinbekomme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aussagen	gar nicht	kaum	ziemlich	außer-ordentlich		
Wie gerne würdest du erneut Feedback zu einem von dir geplanten Experiment erhalten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Aussagen	1	2	3	4	5	6
Bewerte das Lernen mit dem Feedback mit einer Schulnote.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.2 Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu **deiner Denkanstrengung** bei der Arbeit mit dem Feedback zu. Kreuze an.

Aussagen	stimmt absolut nicht	stimmt eher nicht	stimmt wenig	stimmt teilweise	stimmt eher	stimmt absolut
Das Feedback, das ich zu meiner Experimentplanung bekommen habe, war sehr unverständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Feedback zu meiner Experimentplanung hat mir nicht beim Lernen geholfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das Feedback zu meiner Experimentplanung schwierig zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aussagen	sehr schwer	ziemlich schwer	schwer	leicht	ziemlich leicht	sehr leicht
Wie leicht oder schwer fiel dir das Verstehen des Feedbacks?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aussagen	sehr gering	ziemlich gering	gering	hoch	ziemlich hoch	sehr hoch
Wie hoch war deine Denkanstrengung beim Verstehen des Feedbacks?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





## **C Material Untersuchung 2**

Nachfolgend ist das Testheft der zweiten Untersuchung dargestellt. Die Durchführung der Experimentplanung wird auf dem Forscherbogen (Scheuermann, 2017) verschriftlicht. Der Cognitive Load wird mit Items zur investierten Denkanstrengung (Paas, 1992) und wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit (Kalyuga et al., 1999) erhoben. Die Motivation wird mit Items aus der Arbeit von Hauerstein (2009) erfasst, die auf den Arbeiten von Fechner (2009) und Haugwitz (2009) beruhen. Die wahrgenommene Unterstützung des Feedbacks wird mit den Items von Bürgermeister et al. 2011 erhoben und die Bewertung des Feedbacks hinsichtlich unterstützender Feedbackmerkmale erfolgt mittels eigententwickelten Bewertungsbogens.



**Unterrichtssituation**


Im Chemieunterricht der Klasse 9a wird gerade das Thema „Salze und Ionen“ unterrichtet. Lea und ihre Mitschüler:innen sollen alle ein Experiment zur Untersuchung der Leitfähigkeit einer Kochsalzlösung und einer Zuckerlösung planen. Hier siehst du Leas Experimentplanung:

 Frage und Vermutung 

Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?

Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckerlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.

 Materialien	 Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ein Becherglas</li> <li>• ein Spatel</li> <li>• drei Kabel + Krokodilklemme</li> <li>• zwei Kohleelektroden</li> <li>• eine Glühlampe + Halterung</li> <li>• Batterie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kochsalz</li> <li>• destilliertes Wasser</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> </ul>

 Durchführung

Man füllt ein Becherglas mit destilliertem Wasser. Nun gibt man in das Becherglas Kochsalz. Dann rührt man mit dem Spatel im Becherglas das Salz-Wasser-Gemisch solange um, bis man kein Salz mehr sehen kann. Dann baut man die Teile zum Messen der Leitfähigkeit zusammen. Man klemmt das eine Ende des ersten Kabels an die Kohlelektrode und das andere Ende an die eine Seite der Halterung der Glühlampe. Das eine Ende des zweiten Kabels wird an die andere Seite der Halterung der Glühlampe geklemmt und das andere Ende an eine Batterie. Anschließend klemmt man das eine Ende des dritten Kabels ebenfalls an die Batterie und das andere Ende an die zweite Kohlelektrode. Man legt die beiden Elektroden in die Lösung im Becherglas und beobachtet die Glühlampe für ein paar Minuten.

Bevor das geplante Experiment durchgeführt werden darf, erhalten Lea und ihre Mitschüler:innen zu ihren Experimentplanungen individuelles Feedback von ihrer Chemielehrkraft. Versetze dich in Leas Situation und lies dir das Feedback gut durch. Verbessere Leas Experimentplanung mit Hilfe des Feedbacks und schreibe eine neue Durchführung auf.

## Hier ist dein FEEDBACKBOGEN!

Mit dem Bogen erhältst du Feedback zu dem geplanten Experiment. Im nächsten Kasten findest du nochmal die Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung. Im Anschluss daran ist das Feedback abgebildet. Du findest dort Merkmale, die schon richtig gut umgesetzt wurden. Du findest aber auch Merkmale, die bei der nächsten Planung verbessert werden müssen. Die Merkmale, die noch verbessert werden müssen, sind in der Abbildung mit einem roten Kasten eingrahmt.

### Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung

- Du überprüfst die Vermutung vollständig.
- Du benennst die zu untersuchenden Stoffe richtig.
- Du beschreibst die zu untersuchenden Stoffe mit genauen Angaben.
- Du untersuchst eine chemische Fragestellung.
- Du setzt ein Messinstrument ein.
- Du betrachtest die zu untersuchenden Stoffe in einer festgelegten Zeit.
- Du hältst mindestens zwei Einflussfaktoren gleich.
- Du beschreibst eine Wiederholung und einen Parallelansatz des Experiments.

FEEDBACK

 Durchführung

Empty rectangular box for content.

## Denkanstrengung und Motivation

Die nachfolgenden Aufgaben dienen dazu herauszufinden, wie stark du nachdenken musst und wie motiviert du bist, wenn du mit dem Feedback arbeitest. Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu **deiner Denkanstrengung** zu? Kreuze an.

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es viel zu schwer.	<b><u>Etwas zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es etwas zu schwer.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu schwer.	<b><u>Etwas zu leicht:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, es war etwas zu leicht.	<b><u>Viel zu leicht:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, es war viel zu leicht.
Wie leicht oder schwer war das Feedback insgesamt zu verstehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war viel zu viel.	<b><u>Etwas zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war etwas zu viel.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu viel.	<b><u>Etwas zu gering:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, das war etwas zu wenig.	<b><u>Viel zu gering:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, das war viel zu wenig.
Wie hoch war deine Denkanstrengung beim Arbeiten mit dem Feedback?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu **deiner Motivation** zu? Kreuze an.

<b>Aussage</b>	<b>stimmt gar nicht</b>	<b>stimmt wenig</b>	<b>stimmt ziemlich</b>	<b>stimmt völlig</b>
Beim Lesen des Feedbacks fühle ich mich wohl.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Informationen im Feedback interessieren mich nicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mit dem Feedback arbeite, dann kann es sein, dass ich nicht merke, wie die Zeit vergeht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Arbeit mit dem Feedback gehört zu meinen Lieblingstätigkeiten im Chemieunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mich mit dem Feedback zu beschäftigen, macht mir großen Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Aufgabenlösungen vergleiche ich lieber mit den Lösungen meines Sitznachbarn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich freue mich meistens darauf wieder Feedback zu erhalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Am liebsten würde ich gar nicht mit Feedback arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde die Arbeit mit dem Feedback interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mit dem Feedback arbeite, lasse ich mich von nichts stören.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mit dem Feedback arbeite, vergesse ich alles um mich herum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Wahrgenommene Unterstützung**

Die nachfolgenden Aufgaben dienen dazu herauszufinden, wie unterstützend du das Feedback wahrgenommen hast. Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zur **wahrgenommenen Unterstützung** durch das Feedback zu? Kreuze an.

Aussagen	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziem- lich	stimmt völlig
Durch das Feedback habe ich erfahren, ob ich Fortschritte gemacht habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback habe ich erfahren, was ich noch verbessern könnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback fühle ich mich darin unterstützt, den Stoff, der im Experiment behandelt wurde, besser zu verstehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass mir auch schwierige Aufgaben zugetraut werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback fühle ich mich für gute Leistungen gelobt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch das Feedback habe ich das Gefühl, dass ich mein Wissen beim nächsten Mal umsetzen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Bewertung des Feedbacks

In der kommenden Zeit sollen noch mehr Schüler:innen diese Art von Feedback erhalten. Wie hat dir das Feedback gefallen? Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen **zum Feedback** zu? Kreuze an.

Aussagen	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre für <b>welches Lernziel</b> ich die Aufgabe gemacht habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie ich das <b>Lernziel</b> der Aufgabe <b>erreichen</b> kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, was ich beim nächsten Mal noch <b>besser machen</b> kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich erfahre, wie <b>gut</b> ich die Aufgabe gelöst habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es <b>nicht</b> zu <b>viele Informationen</b> enthält.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mir ein <b>positives Gefühl</b> gibt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil ich dadurch weiß, was ich <b>falsch gemacht</b> habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es in <b>schriftlicher Form</b> vorliegt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mich <b>direkt anspricht</b> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es Bezug zu <b>meiner Experimentplanung</b> nimmt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es <b>sprachlich gut zu verstehen</b> war.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde das Feedback unterstützend, weil es mir <b>konkrete Beispiele</b> aufzeigt, was ich in den nächsten Schritten noch verbessern kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Was hat dir **an dem Feedback** gut gefallen und was kann noch verbessert werden?  
Schreibe auf.

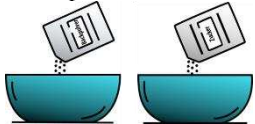
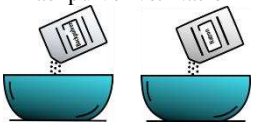
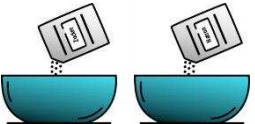












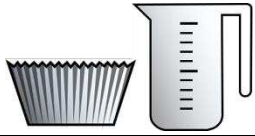
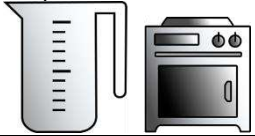




<b>Das war schon gut</b>	<b>Das kann noch verbessert werden</b>



**D Material Untersuchung 3**

Nachfolgend ist das Testheft in Version A der dritten Untersuchung dargestellt. Zwischen den einzelnen Aufgaben wird die Kompetenz zum Planen eines Experiments mit Hilfe eigenentwickelter Items erhoben. Der Cognitive Load wird mit Items zur investierten Denkanstrengung (Paas, 1992) und wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit (Kalyuga et al., 1999) erfasst. Die Durchführung der Experimentplanung wird auf dem Forscherbogen (Scheuermann, 2017) verschriftlicht.





**Wissen über das Planen eines Experiments – Backtriebmittel**

Leon und Marie vermuten, dass Muffins beim Backen höher werden, wenn Natron anstelle von Backpulver verwendet wird. Sie wollen diese Vermutung mit Hilfe eines Experiments überprüfen. Hilf den beiden bei der Planung des Experiments! Kreuze die <b>eine</b> richtige Antwort an.		
1. Welchen Ansatz sollen Leon und Marie wählen? Kreuze an!		
<p>Backpulver vs. Zucker</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Backpulver vs. Natron</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Zucker vs. Natron</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
2. Wie viel der Zutaten sollen Leon und Marie jeweils nutzen? Kreuze an!		
<p>Von beiden Zutaten jeweils 5 g</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Von der einen Zutat 5 g und von der anderen 10 g</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Von beiden Zutaten circa einen Teelöffel</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
3. Wie können Leon und Marie feststellen, welche Zutat besser wirkt? Kreuze an!		
<p>Geschmack nach dem Backen</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Höhe nach dem Backen</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Farbe nach dem Backen</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
4. Mit welchem Instrument können Leon und Marie messen, welche Zutat besser wirkt? Kreuze an!		
<p>Thermometer</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Lupe</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Messschieber</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
5. Wann können Leon und Marie mit dem Messen beginnen? Kreuze an!		
<p>Nach dem Ende der Backzeit</p>  <p>30 min</p> <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Am nächsten Tag</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Nach der Hälfte der Backzeit</p>  <p>15 min</p> <p><input type="checkbox"/></p>
6. Welche Einflussfaktoren müssen Leon und Marie gleich halten, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen? Kreuze an!		
<p>Die Größe der Muffinförmchen und die Größe des Messbechers</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Die Größe des Messbechers und die Temperatur des Backofens</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Die Größe der Muffinförmchen und die Temperatur des Backofens</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
7. Wie können Leon und Marie das Experiment verändert durchführen, um die Ergebnisse zu prüfen? Kreuze an!		
<p>Sie verwenden für beide Zutaten jeweils die verdoppelte Masse</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Sie erhöhen die Temperatur des Backofens auf 250 °C</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Sie verwenden von beiden Zutaten etwas mehr</p>  <p><input type="checkbox"/></p>

## Experimentplanung

Im Chemieunterricht der Klasse 9a wird gerade das Thema „Salze und Ionen“ unterrichtet. Lea und ihre Mitschüler:innen sollen alle ein Experiment zur Untersuchung der Leitfähigkeit einer Kochsalzlösung und einer Zuckerlösung planen. Hier siehst du Leas Experimentplanung.

Lies dir Leas Experimentplanung gut durch.

 Frage und Vermutung	
<p>Inwiefern unterscheiden sich eine Kochsalzlösung und eine Zuckerlösung in ihrer Leitfähigkeit?</p> <p>Die Kochsalzlösung ist leitfähig, da bewegliche, elektrisch geladene Teilchen (= Ionen) vorhanden sind. Die Zuckerlösung ist nicht leitfähig, da keine Ladungsträger vorhanden sind.</p>	
 Materialien	 Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ein Becherglas</li> <li>• ein Spatel</li> <li>• drei Kabel + Krokodilklemme</li> <li>• zwei Kohleelektroden</li> <li>• eine Glühlampe + Halterung</li> <li>• Batterie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kochsalz</li> <li>• destilliertes Wasser</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> <li>• _____</li> </ul>
 Durchführung	
<p>Man füllt ein Becherglas mit destilliertem Wasser. Nun gibt man in das Becherglas Kochsalz. Dann rührt man mit dem Spatel im Becherglas das Salz-Wasser-Gemisch solange um, bis man kein Salz mehr sehen kann. Dann baut man die Teile zum Messen der Leitfähigkeit zusammen. Man klemmt das eine Ende des ersten Kabels an die Kohlelektrode und das andere Ende an die eine Seite der Halterung der Glühlampe. Das eine Ende des zweiten Kabels wird an die andere Seite der Halterung der Glühlampe geklemmt und das andere Ende an eine Batterie. Anschließend klemmt man das eine Ende des dritten Kabels ebenfalls an die Batterie und das andere Ende an die zweite Kohlelektrode. Man legt die beiden Elektroden in die Lösung im Becherglas und beobachtet die Glühlampe für ein paar Minuten.</p>	

**Denkanstrengung**




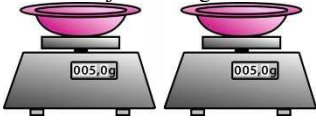
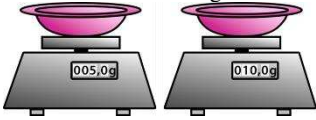


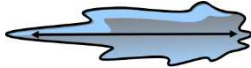







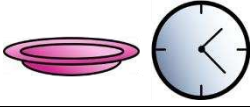
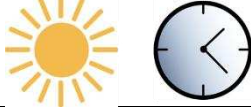




Die nachfolgenden Aufgaben dienen dazu herauszufinden, wie stark du nachdenken musst, wenn du Leas Experimentplanung liest.

**Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu deiner Denkanstrengung zu? Kreuze an.**

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es viel zu schwer.	<b><u>Etwas zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es etwas zu schwer.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu schwer.	<b><u>Etwas zu leicht:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, es war etwas zu leicht.	<b><u>Viel zu leicht:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, es war viel zu leicht.
Wie leicht oder schwer war Leas Experimentplanung insgesamt zu verstehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war viel zu viel.	<b><u>Etwas zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war etwas zu viel.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu viel.	<b><u>Etwas zu gering:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, das war etwas zu wenig.	<b><u>Viel zu gering:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, das war viel zu wenig.
Wie hoch war deine Denkanstrengung beim Lesen von Leas Experimentplanung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Wissen über das Planen eines Experiments – Süßigkeiten**

<b>Leon und Marie vermuten, dass Schokolade in der Sonne schneller schmilzt als Gummibärchen.</b> Sie wollen diese Vermutung mit Hilfe eines Experiments überprüfen. Hilf den beiden bei der Planung des Experiments! Kreuze die <b>eine</b> richtige Antwort an.		
<b>1. Welchen Ansatz sollen Leon und Marie wählen? Kreuze an!</b>		
Schokolade vs. Eis  <input type="checkbox"/>	Gummibärchen vs. Eis  <input type="checkbox"/>	Schokolade vs. Gummibärchen  <input type="checkbox"/>
<b>2. Wie viel der Süßigkeiten sollen Leon und Marie jeweils nutzen? Kreuze an!</b>		
Von beiden Süßigkeiten jeweils 5 g  <input type="checkbox"/>	Von der einen Süßigkeit 5 g und von der anderen 10 g  <input type="checkbox"/>	Von beiden Süßigkeiten circa einen Teelöffel  <input type="checkbox"/>
<b>3. Wie können Leon und Marie feststellen, welche Süßigkeit schneller schmilzt? Kreuze an!</b>		
Zeit bis zur vollständigen Süßigkeitenschmelze  <input type="checkbox"/>	Durchmesser der Süßigkeitenschmelze  <input type="checkbox"/>	Temperatur der Süßigkeitenschmelze  <input type="checkbox"/>
<b>4. Mit welchem Instrument können Leon und Marie messen, welche Süßigkeit schneller schmilzt? Kreuze an!</b>		
Thermometer  <input type="checkbox"/>	Stoppuhr  <input type="checkbox"/>	Lineal  <input type="checkbox"/>
<b>5. Wann können Leon und Marie mit dem Messen beginnen? Kreuze an!</b>		
Wenn es geschmolzen ist  <input type="checkbox"/>	Wenn es noch nicht schmilzt  <input type="checkbox"/>	Wenn es zu schmelzen beginnt  <input type="checkbox"/>
<b>6. Welche Einflussfaktoren müssen Leon und Marie gleich halten, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen? Kreuze an!</b>		
Größe des Tellers und Uhrzeit der Durchführung  <input type="checkbox"/>	Intensität der Sonne und Uhrzeit der Durchführung  <input type="checkbox"/>	Größe des Tellers und Intensität der Sonne  <input type="checkbox"/>
<b>7. Wie können Leon und Marie das Experiment verändert durchführen, um die Ergebnisse zu prüfen? Kreuze an!</b>		
Sie verwenden Süßigkeiten einer anderen Marke  <input type="checkbox"/>	Sie verwenden für beide Süßigkeiten jeweils die verdoppelte Masse  <input type="checkbox"/>	Sie führen das Experiment im Schatten durch  <input type="checkbox"/>

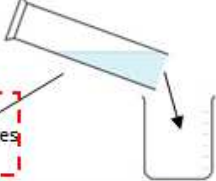

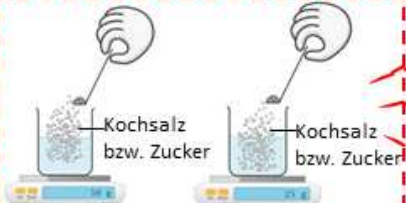
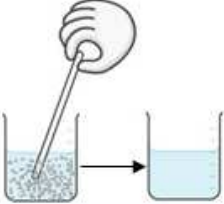
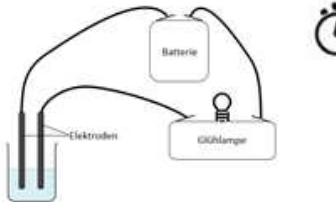
**Lea hat von ihrer Chemielehrerin einen Feedbackbogen zu ihrer Experimentplanung bekommen. Dieser ist auf der nächsten Seite abgebildet. Lies dir diesen gut durch und bearbeite anschließend die Aufgaben auf den nächsten Seiten.**

## Hier ist dein FEEBACKBOGEN!

Mit dem Bogen erhältst du Feedback zu dem geplanten Experiment. Im nächsten Kasten findest du nochmal die Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung. Im Anschluss daran ist das Feedback abgebildet. Du findest dort Merkmale, die schon richtig gut umgesetzt wurden. Du findest aber auch Merkmale, die bei der nächsten Planung verbessert werden müssen. Die Merkmale, die noch verbessert werden müssen, sind in der Abbildung und im Text mit einem roten Kasten eingerahmt.

### Merkmale für eine sehr gute Experimentplanung

- Du überprüfst die Vermutung vollständig.
- Du benennst die zu untersuchenden Stoffe richtig.
- Du beschreibst die zu untersuchenden Stoffe mit genauen Angaben.
- Du untersuchst eine chemische Fragestellung.
- Du setzt ein Messinstrument ein.
- Du betrachtest die zu untersuchenden Stoffe in einer festgelegten Zeit.
- Du hältst mindestens zwei Einflussfaktoren gleich.
- Du beschreibst eine Wiederholung und einen Parallelansatz des Experiments.

<p><b>Abfüllen</b></p>  <p>50 mL destilliertes Wasser</p>	<p><input type="checkbox"/> Das Volumen des destillierten Wassers muss festgelegt werden. Fülle 50 mL destilliertes Wasser ab.</p>
<p><b>Abwiegen Nr. 1</b></p>  <p>Kochsalz bzw. Zucker</p>	<p><input type="checkbox"/> Die verwendete Masse von Kochsalz und Zucker muss festgelegt werden. Wiege jeweils 10 g ab.</p>
<p><b>Abwiegen Nr. 2 und 3</b></p>  <p>Kochsalz bzw. Zucker      Kochsalz bzw. Zucker</p>	<p><input type="checkbox"/> Das Experiment muss wiederholt werden. Wiege dafür erneut jeweils 10 g ab.</p> <p><input type="checkbox"/> Es muss ein Parallelansatz durchgeführt werden. Wiege dafür jeweils 25 g ab.</p> <p><input type="checkbox"/> Du hast nun sechs Bechergläser mit unterschiedlichen Lösungen.</p>
<p><b>Umrühren</b></p> 	<p><input checked="" type="checkbox"/> Rühre solange bis Kochsalz bzw. Zucker im destillierten Wasser gelöst sind.</p>
<p><b>Messen</b></p>  <p>Batterie Elektroden Glühlampe</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> Überprüfe die Leitfähigkeit.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Nutze einen Aufbau bestehend aus zwei Elektroden, einer Batterie, einer Glühlampe und drei Kabeln.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Lege hierfür eine Zeit fest.</p>

**Denkanstrengung**

Die nachfolgenden Aufgaben dienen dazu herauszufinden, wie stark du nachdenken musst, wenn du das Feedback liest.






















**Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu deiner Denkanstrengung zu? Kreuze an.**

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es viel zu schwer.	<b><u>Etwas zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es etwas zu schwer.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu schwer.	<b><u>Etwas zu leicht:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, es war etwas zu leicht.	<b><u>Viel zu leicht:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, es war viel zu leicht.
Wie leicht oder schwer war das Feedback insgesamt zu verstehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war viel zu viel.	<b><u>Etwas zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war etwas zu viel.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu viel.	<b><u>Etwas zu gering:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, das war etwas zu wenig.	<b><u>Viel zu gering:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, das war viel zu wenig.
Wie hoch war deine Denkanstrengung beim Lesen des Feedbacks?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## Wissen über das Planen eines Experiments – Schiffchen

<p><b>Leon und Marie vermuten, dass ein Schiffchen aus Küchenpapier schneller im Wasser sinkt, als ein Schiffchen aus Zeitungspapier.</b>          Sie wollen diese Vermutung mit Hilfe eines Experiments überprüfen. Hilf den beiden bei der Planung des Experiments!          Kreuze die <b>eine</b> richtige Antwort an.</p>		
1. Welchen Ansatz sollen Leon und Marie wählen? Kreuze an!		
<p>Küchenpapier vs. Zeitungspapier</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Zeitungspapier vs. Geldpapier</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Küchenpapier vs. Geldpapier</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
2. Wie groß sollen die Papierstücke sein, die Leon und Marie nutzen, um die Schiffchen zu falten? Kreuze an!		
<p>Beide Papierstücke jeweils 10 x 20 cm</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Ein Papierstück 10 x 10 cm und das andere 10 x 20 cm</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Die Größe ist unwichtig</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
3. Wie können Leon und Marie feststellen, welches Schiffchen im Wasser schneller sinkt? Kreuze an!		
<p>Wassertemperatur beim Sinken</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Zeit bis zum Sinken</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Höhe aus Wasser ragendem Teil</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
4. Mit welchem Instrument können Leon und Marie messen, welches Schiffchen im Wasser schneller sinkt? Kreuze an!		
<p>Lineal</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Thermometer</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Stoppuhr</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
5. Wann können Leon und Marie mit dem Messen beginnen? Kreuze an!		
<p>Wenn die Schiffchen gerade auf dem Wasser sind</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Wenn die Schiffchen zu sinken beginnen</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Wenn die Schiffchen gesunken sind</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
6. Welche Einflussfaktoren müssen Leon und Marie gleich halten, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen? Kreuze an!		
<p>Durchmesser und Füllhöhe der Wasserschale</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Durchmesser und Material der Wasserschale</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Füllhöhe und Material der Wasserschale</p>  <p><input type="checkbox"/></p>
7. Wie können Leon und Marie das Experiment verändert durchführen, um die Ergebnisse zu prüfen? Kreuze an!		
<p>Sie nutzen das Handy als Messinstrument</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Sie füllen die Wasserschale mit mehr Wasser</p>  <p><input type="checkbox"/></p>	<p>Sie verwenden für beide Papierstücke je die doppelte Größe</p>  <p><input type="checkbox"/></p>

**Überarbeite Leas Experimentplanung mit Hilfe des Feedbackbogens und schreibe diese neu auf. Bearbeite anschließend die Aufgaben auf den nächsten Seiten.**

 Durchführung

--

**Denkanstrengung**

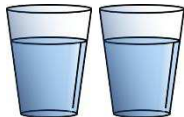
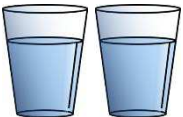
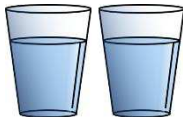
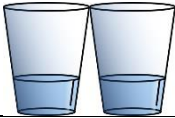
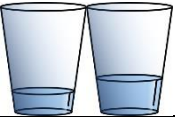
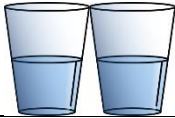









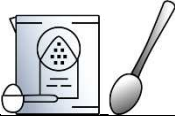
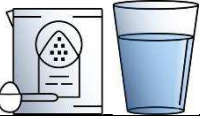
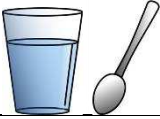



Die nachfolgenden Aufgaben dienen dazu herauszufinden, wie stark du nachdenken musst, wenn du ein Experiment mit Hilfe des Feedbacks planst.

**Wie sehr stimmst du den folgenden Aussagen zu deiner Denkanstrengung zu? Kreuze an.**

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es viel zu schwer.	<b><u>Etwas zu schwer:</u></b> Obwohl ich ganz genau nachgedacht habe, war es etwas zu schwer.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu schwer.	<b><u>Etwas zu leicht:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, es war etwas zu leicht.	<b><u>Viel zu leicht:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, es war viel zu leicht.
Wie leicht oder schwer war das Planen des Experiments?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<b>Aussage</b>	<b><u>Viel zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war viel zu viel.	<b><u>Etwas zu hoch:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, das war etwas zu viel.	<b><u>Genau richtig:</u></b> Ich musste ganz genau nachdenken, aber es war nicht zu viel.	<b><u>Etwas zu gering:</u></b> Ich musste nicht so viel nachdenken, das war etwas zu wenig.	<b><u>Viel zu gering:</u></b> Ich musste gar nicht nachdenken, das war viel zu wenig.
Wie hoch war deine Denkanstrengung beim Planen des Experiments?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Wissen über das Planen eines Experiments – Wasser

Leon und Marie vermuten, dass Waschpulver in hartem Wasser nicht so viel schäumt, wie in weichem Wasser.		
Sie wollen diese Vermutung mit Hilfe eines Experiments überprüfen. Hilf den beiden bei der Planung des Experiments! Kreuze die <b>eine</b> richtige Antwort an.		
1. Welchen Ansatz sollen Leon und Marie wählen? Kreuze an!		
Hartes vs. mittleres Wasser 	Weiches vs. mittleres Wasser 	Hartes vs. weiches Wasser 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Wie viel Wasser sollen Leon und Marie jeweils nutzen? Kreuze an!		
Jeweils 10 mL Wasser 	Einmal 5 mL und 10 mL Wasser 	Jeweils ein halbes Glas Wasser 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Wie können Leon und Marie feststellen, in welchem Wasser das Waschpulver nicht so viel schäumt? Kreuze an!		
Höhe des Schaums 	Temperatur des Schaums 	Zeit bis zur Bildung des Schaums 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Mit welchem Instrument können Leon und Marie messen, in welchem Wasser das Waschpulver nicht so viel schäumt? Kreuze an!		
Thermometer 	Stoppuhr 	Lineal 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Wann können Leon und Marie mit dem Messen beginnen? Kreuze an!		
Wenn sie eine Minute kräftig gerührt haben 	Wenn sie ein bisschen gerührt haben 	Vor dem Rühren 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Welche Einflussfaktoren müssen Leon und Marie gleich halten, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen? Kreuze an!		
Masse des Waschpulvers und Dauer des Umrührens 	Masse des Waschpulvers und Durchmesser des Glases 	Durchmesser des Glases und Dauer des Umrührens 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Wie können Leon und Marie das Experiment verändert durchführen, um die Ergebnisse zu prüfen? Kreuze an!		
Sie verwenden jeweils das doppelte Volumen des Wassers 	Sie rühren doppelt so lange um 	Sie verwenden mehr Waschpulver 
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### E Kategoriensystem und Kodiermanual für die Auswertung der Interviews aus Untersuchung 3

Hauptcode/kategorie	Subcodes	Definition	Ankerbeispiele	Kodierregeln
K1: Überprüfung der Hypothese	<p>K1_R0 = keine Reflektion</p> <p>K1_R1 = teilweise Reflektion</p> <p>K1_R2 = vollständige Reflektion</p>	Es wird reflektiert, dass ein <b>Unterschied der Leitfähigkeit</b> (K1) untersucht werden soll, indem eine <b>Kochsalz- und eine Zuckerlösung</b> (K2) miteinander verglichen werden, um die Hypothese vollständig prüfen zu können.	<p>„Damit man weiß, ob Salz oder Zucker leitfähiger ist.“ – R2</p> <p>„Ich glaube, welches sich eher auflöst war das?“ – R0</p>	Es wird benannt, dass ein Unterschied der Leitfähigkeit untersucht werden soll (R2). Wird eine andere Hypothese (R1) oder keine Hypothese (R0) überprüft ist von einer teilweisen oder von keiner Reflektion auszugehen.
K2: Benennung der <b>unabhängigen Variablen</b>	<p>K2_R0 = keine Reflektion</p> <p>K2_R1 = teilweise Reflektion</p> <p>K2_R2 = vollständige Reflektion</p>	Es wird reflektiert, dass für das Herstellen der Lösungen genaue Maßangaben für das Abwiegen von Kochsalz und Zucker festgelegt werden und diese Angaben für beide Stoffe gleichzuhalten sind, um	<p>„Das wurde in dem Experiment mit Zucker und Salz verglichen.“ – R2</p> <p>„Was war das nochmal für welche Lösung?“ – R0</p>	Die Lösungen müssen als „Kochsalzlösung“ und „Zuckerlösung“ benannt werden (R2). Wird nur eine Lösung (R1) oder keine Lösung (R0) benannt ist von einer teilweisen oder von keiner Reflektion auszugehen.
K3: <b>Maßangaben</b> zur unabhängigen Variablen	<p>K3_R0 = keine Reflektion</p> <p>K3_R1 = teilweise Reflektion</p>	Es wird reflektiert, dass für das Herstellen der Lösungen genaue Maßangaben für das Abwiegen von Kochsalz und Zucker festgelegt werden und diese Angaben für beide Stoffe gleichzuhalten sind, um	<p>„Weil man das sonst nicht vergleichen kann.“ – R2</p> <p>„Weil die müssen ja gleich sein, sonst ist das ja gar nicht</p>	Es wird benannt, dass das Konstanthalten von Maßangaben für die Vergleichbarkeit des experimentellen Ansatzes von Kochsalz und Zucker gewährleistet werden muss (R2).

	K3_R2 = vollständige Reflektion	<b>vergleichbare Experimentbedingungen</b> zu schaffen.	richtiges Vergleichen.“ – R2	Wird ein anderer Grund (R1) oder kein Grund (R0) benannt ist von einer teilweisen oder von keiner Reflektion auszugehen.
K4: Benennung der <b>abhängigen Variablen</b>	K4_R0 = keine Reflektion K4_R1 = teilweise Reflektion K4_R2 = vollständige Reflektion	Es wird reflektiert, dass die abhängige Variable, die <b>elektrische Leitfähigkeit</b> ist.	„Ob die Lösung leitet oder nicht.“ – R2  „Vielleicht, was schneller sich auflöst?“ – R0	Es wird benannt, dass das Phänomen/Stoffeigenschaft der elektrischen Leitfähigkeit untersucht wird (R2). Wird ein anderes Phänomen/Stoffeigenschaft (R1) oder kein Phänomen/Stoffeigenschaft (R0) benannt ist von einer teilweisen oder von keiner Reflektion auszugehen.
K5: <b>Messung</b> der abhängigen Variablen	K5_R0 = keine Reflektion K5_R1 = teilweise Reflektion K5_R2 = vollständige Reflektion	Es wird reflektiert, dass die abhängige Variable, die elektrische Leitfähigkeit, mit einem Messinstrument gemessen werden sollte, um Aufschluss darüber zu erhalten, <b>welche Lösung elektrisch leitfähig ist.</b>	„Dieses Messinstrument zeigt mir, ob die jeweilige Lösung leitfähig ist.“ – R2  „Ich glaube, irgendwas mit der Zeit, also wie lange die gebraucht haben, um das zu leiten oder so.“ – R1	Es wird benannt, dass die elektrische Leitfähigkeit mittels Messinstrument gemessen wird, um herauszufinden, welche der beiden Lösungen elektrische leitfähig ist (R2). Wird ein anderer Grund (R1) oder kein Grund (R0) benannt ist von einer teilweisen oder von keiner

				Reflektion auszu- gehen.
K6: Variation der unab- hängigen Variablen unter An- gabe ei- ner <b>Mess- dauer</b>	K6_R0 = keine Re- fektion  K6_R1 = teilweise Reflektion  K6_R2 = vollstän- dige Re- fektion	Es wird reflektiert, dass für das Messen der Leitfähigkeit bei- der Lösungen eine genaue Messdauer festgelegt werden sollte, <b>vergleichbare Experimentbedin- gungen</b> zu schaffen und <b>vergleichbare Ergebnisse</b> zu gene- rieren.	„Damit beide Experimente gleich durch- geführt wur- den.“ – R2  „Und das war halt auch wieder gleich, damit man das ge- nau verglei- chen kann.“ – R2	Es wird benannt, dass für beide Lö- sungen eine Messdauer festge- legt werden muss, um vergleichbare Bedingungen des Experiments zu schaffen und ver- gleichbare Ergeb- nisse zu generie- ren (R2). Wird ein Grund (R1) oder kein Grund (R0) be- nannt ist von ei- ner teilweisen o- der von keiner Reflektion auszu- gehen.
K7: Konstant halten von <b>Stör- variablen</b>	K7_R0 = keine Re- fektion  K7_R1 = teilweise Reflektion  K7_R2 = vollstän- dige Re- fektion	Es wird reflektiert, dass Variablen, die die Ergebnisse beein- flussen, konstant ge- halten werden müs- sen, <b>vergleichbare Experimentbedin- gungen</b> zu schaffen und <b>vergleichbare Ergebnisse</b> zu gene- rieren.	„Damit das Experiment nicht irgend- wie ver- fälscht wird und damit das für beide gleich bleibt und damit man das Ex- periment durchführen kann unter beiden Be- dingungen.“ – R2	Es wird benannt, dass das Kon- stanthalten von Störvariablen not- wendig ist, um vergleichbare Be- dingungen des Experiments zu schaffen und ver- gleichbare Ergeb- nisse zu generie- ren (R2). Wird ein Grund (R1) oder kein Grund (R0) be- nannt ist von ei- ner teilweisen o- der von keiner Reflektion auszu- gehen.



<p>K8: Beschreibung von <b>Kontrollversuchen</b></p>	<p>K8_R0 = keine Reflektion</p> <p>K8_R1 = teilweise Reflektion</p> <p>K8_R2 = vollständige Reflektion</p>	<p>Es wird reflektiert, dass Kontrollversuche beschrieben werden müssen, um einerseits auszuschließen, dass die <b>Ergebnisse zufällig aufgetreten sind</b> und andererseits die <b>Ergebnisse mit anderen Größenangaben zu verifizieren.</b></p>	<p>„Damit man die These oder das Ergebnis vergleichen kann. Also bei derselben Menge, um zu gucken, dass man nichts falsch gemacht hat, damit dasselbe Ergebnis rauskommt. Ja, der Parallelansatz war ja 25 Gramm. Und das einfach auch, um die These zu bestätigen, dass Salz leidfähiger ist als Zucker, weil es nicht abhängig von der Menge ist.“ – R2</p>	<p>Es wird benannt, dass Kontrollversuche geplant werden müssen, um zufällig aufgetretene Ergebnisse auszuschließen und vorhandene Ergebnisse zu verifizieren. Wird ein Grund (R1) oder kein Grund (R0) benannt ist von einer teilweisen oder von keiner Reflektion auszugehen.</p>
<p>K9: <b>Multimedia</b> Principle</p>	<p>K9_H0 = nicht hilfreich</p> <p>K9_H1 = teilweise hilfreiche</p> <p>K9_H2 = hilfreich</p>	<p>Das Multimedia Principle wird als hilfreich eingeschätzt, da die Texte und Bilder <b>unterschiedliche Informationsverarbeitungskanäle</b> bedienen und <b>ausgesucht</b> werden kann aus welcher Repräsentation Informationen bezogen werden.</p>	<p>„Ja, also es ist immer gut, zwei verschiedene Varianten zu haben und auch eine Entscheidung.“ – H2</p>	<p>Entweder wird das Gestaltungsprinzip als nicht hilfreich (H0), teilweise hilfreich (H1) oder hilfreich (H2) von den Schüler:innen bewertet.</p>

<p>K10: <b>Personalization Principle</b></p>	<p>K10_H0 = nicht hilfreich  K10_H1 = teilweise hilfreiche  K10_H2 = hilfreich</p>	<p>Das Personalization Principle wird als hilfreich eingeschätzt, das Lernen positiv beeinflusst wird, wenn sich der Adressat <b>direkt angesprochen</b> fühlt und Text in <b>bekanntem Gesprächsstil</b> vorzufinden ist.</p>	<p>„Das war eigentlich so wie in der Schule, wie im Chemieunterricht.“ – H2  „Ein bisschen. Also man hat ein paar Sachen vom Chemieunterricht wiedererkannt, aber es war auch ein bisschen kompliziert trotzdem.“ – H1</p>	<p>Entweder wird das Gestaltungsprinzip als nicht hilfreich (H0), teilweise hilfreich (H1) oder hilfreich (H2) von den Schüler:innen bewertet.</p>
<p>K11: <b>Spatial Contiguity Principle</b></p>	<p>K11_H0 = nicht hilfreich  K11_H1 = teilweise hilfreiche  K11_H2 = hilfreich</p>	<p>Das Spatial Contiguity Principle wird als hilfreich eingeschätzt, da <b>zusammengehörende Texte und Bilder räumlich nah beieinander präsentiert werden</b> und keine kognitiven Ressourcen für das <b>Suchen zusammengehörender Repräsentationen</b> genutzt werden müssen.</p>	<p>„Ja, weil sonst kommt das durcheinander, sonst weiß man nicht, welcher Text zu welchem Bild gehört.“ – H2</p>	<p>Entweder wird das Gestaltungsprinzip als nicht hilfreich (H0), teilweise hilfreich (H1) oder hilfreich (H2) von den Schüler:innen bewertet.</p>
<p>K12: <b>Signaling Principle</b></p>	<p>K12_H0 = nicht hilfreich  K12_H1 = teilweise hilfreiche</p>	<p>Das Signaling Principle wird als hilfreich eingeschätzt, da die <b>Aufmerksamkeit der Schüler:innen auf wichtige Informationen gelenkt</b> wird und diese</p>	<p>„Ja, weil ich habe dann sofort nur auf den roten Kasten geguckt und dann wusste ich auch</p>	<p>Entweder wird das Gestaltungsprinzip als nicht hilfreich (H0), teilweise hilfreich (H1) oder hilfreich (H2) von</p>

	K12_H2 = hilfreich	<b>nicht gesucht</b> werden müssen. Somit werden kognitive Ressourcen gespart.	sofort, was geändert werden muss.“ – H2	den Schüler:innen bewertet.
K13: <b>Coherence</b> Principle	K13_H0 = nicht hilfreich  K13_H1 = teilweise hilfreiche  K913_H2 = hilfreich	Das Coherence Principle wird als hilfreich eingeschätzt, da das Lernen verbessert wird, indem <b>nur relevante Texte und Bilder im Lernmaterial sind</b> , was <b>Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses frei</b> hält.	„Ja, weil dann konnte man sich das einfach noch besser vorstellen.“ – H2	Entweder wird das Gestaltungsprinzip als nicht hilfreich (H0), teilweise hilfreich (H1) oder hilfreich (H2) von den Schüler:innen bewertet.

## F Veröffentlichungen und Vorträge

### Publikationen

Ropohl, M., Weimar, H., Arnold, J., **Boegel, S.**, Kampa, N. & Opfermann, M. (2023). Der Prozess formativen Assessments beim Experimentieren: Welche Rolle spielt die kognitive Belastung? In A. Buholzer & D. Brovelli (Hrsg.), *Formatives Assessment: Perspektiven für Unterricht und Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (S. 83–99). Münster: Waxmann.

**Boegel, S.** & Ropohl, M. (2024). Wie muss Feedback gestaltet sein, damit es beim forschenden Lernen unterstützt? *MNU-Journal*, 77 (6), S. 508 - 515.

**Boegel, S.** & Ropohl, M. (2024). Welche Rolle spielen kognitive Belastung und Motivation beim feedbackgestützten Lernen? Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zu lernunterstützenden Feedbackmerkmalen beim Planen von Experimenten. *ZfdN* 30, 10. <https://doi.org/10.1007/s40573-024-00175-2>

### Tagungsbandbeitrag

**Boegel, S.** & Ropohl, M. (2023). Die Rolle affektiver Schüler\*innenmerkmale im Prozess des formativen Assessments. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung 2022 (Bd. 43, S. 734-737)*. Verfügbar unter: <https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2023-band-43/>.

**Boegel, S.** & Ropohl, M. (2024). Der Einfluss von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale. In H. van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung 2023 (Bd. 44, S. 262-265)*. Verfügbar unter: <https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2024-band-44-2/>.

### Vorträge

**Boegel, S.** & Ropohl, M. (2023). Effects of feedback during inquiry phases in chemistry classes. 2023 Summer School of the European Science Education Research Association (ESERA), Neustadt an der Weinstraße, Deutschland.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2023).** Der Einfluss von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale. Vortrag zur Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDPCP). Hamburg.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2024).** Zur Rolle des Cognitive Load beim feedbackgestützten forschenden Lernen. Vortrag zur Jahrestagung der Gesellschaft für empirische Bildungsforschung (GEBF). Potsdam.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2024).** Multimedia feedback as learning support during inquiry-based learning. Conference of the Special Interest Group: Text and Graphics Comprehension (SIG 2) in the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI). Valencia.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2024).** Feedback beim Experimentplanen: Zusammenhänge verschiedener Schüler:innenmerkmale. Vortrag zur Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDPCP). Bochum.

### **Poster**

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2022).** Die Rolle affektiver Schüler\*innenmerkmale im Prozess des formativen Assessments. Poster zur Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDPCP). Aachen.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2023).** Welches Feedback schätzen Schüler:innen als unterstützend ein?. Poster zum Tag der Bildungsforschung des Interdisziplinären Zentrum für Bildungsforschung (IZfB). Essen.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2023).** Zum Einfluss von Feedback auf Lernerfolg und affektive Schüler:innenmerkmale. Poster zur Jahrestagung der Gesellschaft für empirische Bildungsforschung (GEBF). Essen.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2023).** Effects of feedback during inquiry phases in chemistry classes. 2023 Summer School of the European Science Education Research Association (ESERA), Neustadt an der Weinstraße, Deutschland.

**Boegel, S. & Ropohl, M. (2024).** Untersuchung des Cognitive Load beim feedbackgestützten Experimentplanen. Poster zum Tag der Bildungsforschung des Interdisziplinären Zentrum für Bildungsforschung (IZfB). Essen.

Bisher erschienene Bände der Reihe  
*Studien zum Physik- und Chemielernen*

ISSN 1614-8967

**Vollständige Übersicht auf unserer Website**



<https://www.logos-verlag.de/spcl>

**Aktuelle Bände**

- 300 Amany Annaggar (2020): A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education  
ISBN 978-3-8325-5150-6 52.00 EUR
- 301 Alexander Engl (2020): CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur. Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“  
ISBN 978-3-8325-5174-2 59.00 EUR (open access)
- 302 Christin Marie Sajons (2020): Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln  
ISBN 978-3-8325-5155-1 56.00 EUR (open access)
- 303 Philipp Bitzenbauer (2020): Quantenoptik an Schulen. Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik  
ISBN 978-3-8325-5123-0 59.00 EUR (open access)
- 304 Malte Ubben (2020): Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik  
ISBN 978-3-8325-5181-0 43.50 EUR (open access)
- 305 Wiebke Hinrike Kuske-Janßen (2020): Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8  
ISBN 978-3-8325-5183-4 47.50 EUR (open access)
- 306 Kai Bliesmer (2020): Physik der Küste für außerschulische Lernorte. Eine Didaktische Rekonstruktion  
ISBN 978-3-8325-5190-2 58.00 EUR (open access)
- 307 Nikola Schild (2021): Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik  
ISBN 978-3-8325-5226-8 42.00 EUR (open access)

- 308 Daniel Aeverbeck (2021): Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemie-  
studiums. Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen  
ISBN 978-3-8325-5227-5 51.00 EUR
- 309 Martina Strübe (2021): Modelle und Experimente im Chemieunterricht. Eine Video-  
studie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln  
ISBN 978-3-8325-5245-9 45.50 EUR
- 310 Wolfgang Becker (2021): Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsen-  
tationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern  
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 311 Marvin Rost (2021): Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunter-  
richt der Sekundarstufe I. Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines  
Testinstruments aus epistemologischer Perspektive  
ISBN 978-3-8325-5256-5 44.00 EUR (open access)
- 312 Christina Kobl (2021): Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach  
Chemie  
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR (open access)
- 313 Ann-Kathrin Beretz (2021): Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts.  
eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik  
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR (open access)
- 314 Judith Breuer (2021): Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das An-  
gebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Fallanalysen zum Nutzungsverhal-  
ten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik  
ISBN 978-3-8325-5293-0 50.50 EUR (open access)
- 315 Michaela Oettle (2021): Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teil-  
chenphysik. Eine Delphi-Studie  
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR (open access)
- 316 Volker Brüggemann (2021): Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-  
Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens  
ISBN 978-3-8325-5331-9 40.00 EUR (open access)
- 317 Stefan Müller (2021): Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit natur-  
wissenschaftlicher Erkenntnisse. Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdi-  
daktische Konsequenzen für die Chemielehrer\*innenbildung  
ISBN 978-3-8325-5343-2 63.00 EUR
- 318 Laurence Müller (2021): Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen  
und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten  
ISBN 978-3-8325-5379-1 59.00 EUR
- 319 Lars Ehlert (2021): Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Pla-  
nung von selbstgesteuerten Experimenten  
ISBN 978-3-8325-5393-7 41.50 EUR (open access)

- 320 Florian Seiler (2021): Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR (open access)
- 321 Nadine Boele (2021): Entwicklung eines Messinstruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung von (angehenden) Chemielehrkräften hinsichtlich der Lernunterstützung  
ISBN 978-3-8325-5402-6 46.50 EUR
- 322 Franziska Zimmermann (2022): Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften  
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR
- 323 Lars-Frederik Weiß (2021): Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre. Empirische Untersuchungen in Schule und Hochschule  
ISBN 978-3-8325-5418-7 51.00 EUR
- 324 Tilmann Steinmetz (2021): Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts  
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.50 EUR
- 325 Kübra Nur Celik (2022): Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“  
ISBN 978-3-8325-5431-6 55.00 EUR
- 326 Matthias Ungermann (2022): Förderung des Verständnisses von Nature of Science und der experimentellen Kompetenz im Schüler\*innen-Labor Physik in Abgrenzung zum Regelunterricht  
ISBN 978-3-8325-5442-2 55.50 EUR
- 327 Christoph Hoyer (2022): Multimedial unterstütztes Experimentieren im webbasierten Labor zur Messung, Visualisierung und Analyse des Feldes eines Permanentmagneten  
ISBN 978-3-8325-5453-8 45.00 EUR
- 328 Tobias Schüttler (2022): Schülerlabore als interessefördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen  
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth (2022): Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren  
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR
- 330 Dagmar Michna (2022): Inklusiver Anfangsunterricht Chemie. Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion  
ISBN 978-3-8325-5463-7 49.50 EUR
- 331 Marco Seiter (2022): Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-5471-2 66.00 EUR



- 332 Jörn Hägele (2022): Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten. Videobasierte Analysen zu Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung von fachmethodischer Instruktion  
ISBN 978-3-8325-5476-7      56.50 EUR (open access)
- 333 Erik Heine (2022): Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehramtsstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie  
ISBN 978-3-8325-5478-1      48.50 EUR (open access)
- 334 Simon Goertz (2022): Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis. Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie  
ISBN 978-3-8325-5494-1      66.50 EUR
- 335 Christina Toschka (2022): Lernen mit Modellexperimenten. Empirische Untersuchung der Wahrnehmung und des Denkens in Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten  
ISBN 978-3-8325-5495-8      50.00 EUR (open access)
- 336 Alina Behrendt (2022): Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-5498-9      40.50 EUR (open access)
- 337 Manuel Daiber (2022): Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik. Formuliert mit In-Out Symbolen  
ISBN 978-3-8325-5507-8      48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak (2022): Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten. Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management  
ISBN 978-3-8325-5508-5      46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka (2022): Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht  
ISBN 978-3-8325-5514-6      69.50 EUR
- 340 Arne Bewersdorff (2022): Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln  
ISBN 978-3-8325-5522-1      39.00 EUR (open access)
- 341 Thomas Christoph Münster (2022): Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler\*innen?. Eine Videostudie zur Mechanik  
ISBN 978-3-8325-5534-4      44.50 EUR (open access)
- 342 Ines Komor (2022): Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie  
ISBN 978-3-8325-5546-7      46.50 EUR

- 343 Verena Petermann (2022): Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln  
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR (open access)
- 344 Jana Heinze (2022): Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-5553-5 42.00 EUR (open access)
- 345 Jannis Weber (2022): Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich  
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR (open access)
- 346 Fabian Sterzing (2022): Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik. Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat  
ISBN 978-3-8325-5576-4 52.00 EUR (open access)
- 347 Lars Greitemann (2022): Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung  
ISBN 978-3-8325-5580-1 50.00 EUR
- 348 Fabian Poengen (2022): Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer\*innenbildung  
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr (2023): Virtual-Reality-Experimente. Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien  
ISBN 978-3-8325-5595-5 49.00 EUR
- 350 Bert Schlüter (2023): Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE  
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave (2023): Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen. Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modellkomponenten für den Fachbereich Chemie  
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR
- 352 Anna B. Bauer (2023): Experimentelle Kompetenz Physikstudierender. Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden  
ISBN 978-3-8325-5625-9 47.00 EUR (open access)
- 353 Jan Schröder (2023): Entwicklung eines Performanztests zur Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-5655-6 46.50 EUR
- 354 Susanne Gerlach (2023): Aspekte einer Fachdidaktik Körperpflege. Ein Beitrag zur Standardentwicklung  
ISBN 978-3-8325-5659-4 45.00 EUR

- 355 Livia Murer (2023): Diagnose experimenteller Kompetenzen beim praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. Vergleich verschiedener Methoden und kognitive Validierung eines Testverfahrens  
ISBN 978-3-8325-5657-0 41.50 EUR (open access)
- 356 Andrea Maria Schmid (2023): Authentische Kontexte für MINT-Lernumgebungen. Eine zweiteilige Interventionsstudie in den Fachdidaktiken Physik und Technik  
ISBN 978-3-8325-5605-1 57.00 EUR (open access)
- 357 Julia Ortmann (2023): Bedeutung und Förderung von Kompetenzen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten in universitären Praktika  
ISBN 978-3-8325-5670-9 37.00 EUR (open access)
- 358 Axel-Thilo Prokop (2023): Entwicklung eines Lehr-Lern-Labors zum Thema Radioaktivität. Eine didaktische Rekonstruktion  
ISBN 978-3-8325-5671-6 49.50 EUR
- 359 Timo Hackemann (2023): Textverständlichkeit sprachlich variiertes physikbezogener Sachtexte  
ISBN 978-3-8325-5675-4 41.50 EUR (open access)
- 360 Dennis Dietz (2023): Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie. Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“  
ISBN 978-3-8325-5676-1 49.50 EUR
- 361 Ann-Katrin Krebs (2023): Vielfalt im Physikunterricht. Zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen unter Diversitätsaspekten  
ISBN 978-3-8325-5672-3 65.50 EUR (open access)
- 362 Simon Kaulhausen (2023): Strukturelle Ursachen für Klausurmisserfolg in Allgemeiner Chemie an der Universität  
ISBN 978-3-8325-5699-0 37.50 EUR (open access)
- 363 Julia Eckoldt (2023): Den (Sach-)Unterricht öffnen. Selbstkompetenzen und motivationale Orientierungen von Lehrkräften bei der Implementation einer Innovation untersucht am Beispiel des Freien Explorierens und Experimentierens  
ISBN 978-3-8325-5663-1 48.50 EUR (open access)
- 364 Albert Teichrew (2023): Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen  
ISBN 978-3-8325-5710-2 58.50 EUR (open access)
- 365 Sascha Neff (2023): Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis. Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation  
ISBN 978-3-8325-5687-7 59.00 EUR (open access)
- 366 Rahel Schmid (2023): Verständnis von Nature of Science-Aspekten und Umgang mit Fehlern von Schüler\*innen der Sekundarstufe I. Am Beispiel von digital-basierten Lernprozessen im informellen Lernsetting Smartfeld  
ISBN 978-3-8325-5722-5 53.50 EUR (open access)

- 367 Dennis Kirstein (2023): Individuelle Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiche Lernprozesse mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Lernvoraussetzungen, Lerntätigkeiten, Schwierigkeiten und Lernerfolg beim Experimentieren in Kleingruppen der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-5729-4 50.50 EUR (open access)
- 368 Frauke Düwel (2024): Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten. Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung  
ISBN 978-3-8325-5731-7 63.00 EUR (open access)
- 369 Fabien Güth (2023): Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variiertes Kontextaufgaben im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-5737-9 48.00 EUR (open access)
- 370 Oliver Grewe (2023): Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen hinsichtlich sprachsensibler Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Konzeption und Evaluation einer video- und praxisbasierten Lehrveranstaltung im Masterstudium  
ISBN 978-3-8325-5738-6 44.50 EUR (open access)
- 371 Anna Nowak (2023): Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht. Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ  
ISBN 978-3-8325-5739-3 59.00 EUR (open access)
- 372 Dominique Angela Holland (2023): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) kooperativ gestalten. Vergleich monodisziplinärer und interdisziplinärer Kooperation von Lehramtsstudierenden bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Online-BNE-Unterricht  
ISBN 978-3-8325-5760-7 47.00 EUR (open access)
- 373 Renan Marcello Vairo Nunes (2024): MINT-Personal an Schulen. Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege  
ISBN 978-3-8325-5778-2 51.00 EUR (open access)
- 374 Mats Kieserling (2024): Digitalisierung im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer experimentellen digitalen Lernumgebung mit universeller Zugänglichkeit  
ISBN 978-3-8325-5786-7 45.50 EUR
- 375 Cem Aydin Salim (2024): Die Untersuchung adaptiver Lernsettings im Themenbereich „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlichen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-5787-4 49.00 EUR (open access)
- 376 Novid Ghassemi (2024): Evaluation eines Lehramtsmasterstudiengangs mit dem Profil Quereinstieg im Fach Physik. Erkenntnisse zu Eingangsbedingungen, professionellen Kompetenzen und Aspekten individueller Angebotsnutzung  
ISBN 978-3-8325-5789-8 41.50 EUR (open access)

- 377 Martina Flurina Cavelti (2024): Entwicklung und Validierung eines Messinstruments zur Erfassung der Schülerkompetenzen im Bereich des wissenschaftlichen Skizzierens im Fach Chemie in der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-5829-1 45.00 EUR (open access)
- 378 Tom Bleckmann (2024): Formatives Assessment auf Basis von maschinellem Lernen. Eine Studie über automatisiertes Feedback zu Concept Maps aus dem Bereich Mechanik  
ISBN 978-3-8325-5842-0 46.50 EUR (open access)
- 379 Jana Marlies Rehberg (2024): Das physikspezifische Mindset zum Studienbeginn. Fragebogenentwicklung und Aufbau einer Online-Intervention  
ISBN 978-3-8325-5850-5 59.50 EUR (open access)
- 380 Florian Trauten (2024): Entwicklung und Evaluation von automatisierten Feedbackschleifen in Online-Aufgaben im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-5859-8 46.00 EUR (open access)
- 381 Johanna Dejanovikj (2024): Reflexion als Lerngegenstand im Unterricht zur Förderung von Bewertungskompetenz  
ISBN 978-3-8325-5860-4 41.00 EUR (open access)
- 382 Katharina Flieser (2024): Verständlichkeit physikalischer Sachtexte. Untersuchungen zum Wirkungsgefüge zwischen sprachlicher Textgestaltung und der Behaltensleistung sowie der Textwahrnehmung im Schulfach Physik  
ISBN 978-3-8325-5858-1 44.00 EUR (open access)
- 383 Stephanie Neppl (2024): Perspektivenübernahme im Physikunterricht. Explorative Interviewstudie zu einer Seminarkonzeption mit dem Schwerpunkt Perspektivenübernahme bei der Planung von Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-5865-9 48.00 EUR (open access)
- 384 Katja Plicht (2024): Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz. Entwicklung und empirische Evaluation eines Strategietrainings auf der Basis von Expertisemerkmalen  
ISBN 978-3-8325-5875-8 45.00 EUR (open access)
- 385 Svenja Boegel (2024): Feedback beim Experimentieren: Zur Rolle von Cognitive Load und Motivation  
ISBN 978-3-8325-5911-3 45.50 EUR (open access)
- 386 Laura Pannullo (2025): Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren: Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes für Experimente in inklusiven Lerngruppen im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-5916-8 46.50 EUR (open access)

Vollständige Übersicht unter: <https://www.logos-verlag.de/spcl>

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder telefonisch (030 - 42 85 10 90) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.



# Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung im deutschsprachigen Raum.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

## **Kontaktadressen:**

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf  
Universität Wien,  
Österreichisches Kompetenzzentrum  
für Didaktik der Physik,  
Porzellangasse 4, Stiege 2,  
1090 Wien, Österreich,  
Tel. +43-1-4277-60330,  
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Mathias Ropohl  
Didaktik der Chemie,  
Fakultät für Chemie,  
Universität Duisburg-Essen,  
Schützenbahn 70, 45127 Essen,  
Tel. 0201-183 2704,  
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Die Anwendung der Variablenkontrollstrategie bei der Planung von Experimenten ist für Lernende herausfordernd. Feedback ist ein Ansatz, den Erwerb entsprechender Kompetenzen zu unterstützen. Durch die Unterstützung entstehen jedoch komplexe Lernsituationen, in denen die Rolle von Einflussfaktoren auf den Lernerfolg, wie dem Cognitive Load und der Motivation, nicht ausreichend untersucht sind.

In dieser Arbeit wurden drei Untersuchungen mit Chemielernenden der 9. Jahrgangsstufe durchgeführt, um die Rolle von kognitiven und affektiven Merkmalen in Abhängigkeit von der Feedbackmodalität zu untersuchen. Zunächst wurde analysiert, wie als unterstützend wahrgenommenes Feedback laut den Lernenden inhaltlich und gestalterisch aufbereitet werden muss ( $N = 99$ ). Daran anknüpfend wurden drei Feedbackversionen hinsichtlich des Kompetenzerwerbs, des Cognitive Loads und der Motivation verglichen ( $N = 290$ ). Abschließend wurde ermittelt, wie sich der Kompetenzerwerb und der Cognitive Load während der Lernsituation mit Feedback verändern ( $N = 178$ ).

Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem die bildliche Visualisierung des Feedbacktextes, der sich auf die Durchführung des Experiments bezieht, von Lernenden gewünscht wird. Eine kombinierte Darbietung der Feedbackinformationen über Texte und Bilder führt zum Kompetenzerwerb für die Planung eines Experiments sowie zu einem reduzierten Cognitive Load.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5911-3