

Sevan Khagy

**Lernen durch Erklären –
Entwicklung und Evaluation eines
Seminarkonzepts zur Förderung der
Sach- und Erklärkompetenz von
Chemie-Lehramtsstudierenden**

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 398

Sevan Khagy

**Lernen durch Erklären – Entwicklung und
Evaluation eines Seminarkonzepts zur
Förderung der Sach- und Erklärkompetenz
von Chemie-Lehramtsstudierenden**

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 2026

ISBN 978-3-8325-6081-2

ISSN 1614-8967

DOI 10.30819/6081

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>

**Lernen durch Erklären – Entwicklung und Evaluation eines
Seminar konzepts zur Förderung der Sach- und Erklärkompe-
tenz von Chemie-Lehramtsstudierenden**



Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
einer Doktorin der Didaktik der Naturwissenschaften

„Dr. phil. nat.“ (Doctor Philosophiae Naturalis)

im Promotionsfach

Didaktik der Chemie

der Fakultät Chemie und Pharmazie

der Universität Regensburg

vorgelegt von

Sevan Khagy

aus Würzburg

im Jahr 2025

Gutachter:

Prof. Dr. Oliver Tepner

Prof. Dr. Stefan Krauss

Kurzzusammenfassung

Der zunehmende Mangel an qualifizierten Lehrkräften in den MINT-Fächern stellt das Bildungssystem vor erhebliche Herausforderungen. Insbesondere im Fach Chemie tragen hohe Studienabbruchsquoten, insbesondere in der Studieneingangsphase, maßgeblich zu diesem Defizit bei. Ein zentraler Prädiktor für den Studienerfolg im Fach Chemie ist das Fachwissen der Studierenden. Eine gezielte Förderung dieses Wissens kann somit wesentlich zur Reduktion von Abbrüchen und zur Verbesserung des Studienerfolgs beitragen. Entscheidend für erfolgreiches Lernen ist die Aktivierung kognitiver Prozesse, die unter anderem durch das eigenständige Erstellen von Erklärungen angeregt werden kann.

Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Forschungsarbeit die Methode „Lernen durch Erklären“ hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Förderung sowohl des Fachwissens als auch der Erklärkompetenz von Chemie-Lehramtsstudierenden. Eine Möglichkeit zur Unterstützung des Lernprozesses durch selbstgenerierte Erklärungen bietet das Erstellen eigener Lernvideos. Darüber hinaus kann auch der Einsatz fremdproduzierter Lernvideos Erklärprozesse initiieren, sofern Lernende im Anschluss eigenständige schriftliche Erklärungen formulieren. Die Erklärkompetenz von Studierenden kann ergänzende Hinweise auf das zugrunde liegende Verständnis und damit den Lernzuwachs geben. Zur Erfassung der Erklärkompetenz wurde ein Kodiermanual entwickelt, das dazu eingesetzt wurde, die schriftlichen Erklärungen der Studierenden hinsichtlich der Erklärqualität zu bewerten. Die Untersuchung war in ein Begleitseminar zur Vorlesung „Allgemeine Chemie“ im ersten Semester des Chemiestudiums an der Universität Regensburg eingebettet. Das Seminar unterstützte Lehramtsstudierende gezielt in Themengebieten der analytischen und anorganischen Chemie. Im Rahmen des Seminars wurde die Effektivität verschiedener Einsatzmöglichkeiten von Lernvideos in Bezug auf den Lernzuwachs und die Erklärkompetenz der Studierenden untersucht. Dabei wurden Gruppen danach unterschieden, ob die Studierenden fremdgestaltete Lernvideos nutzten, um schriftliche Erklärungen zu erstellen oder ob die Studierenden Lernvideos selbst gestalteten. Ergänzend wurde die Wirksamkeit unterschiedlicher Gestaltungsarten von Lernvideos analysiert, indem Erklärvideos und Video-Modeling-Examples miteinander verglichen wurden. Ein empirischer Vergleich dieser Formate stellt bislang ein Forschungsdesiderat dar und wird durch die vorliegende Arbeit erstmals aufgegriffen.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Generieren eigener Erklärungen einen nachhaltigen Beitrag zum langfristigen Wissenserwerb leisten kann. Für den kurzfristigen Lernzuwachs erwies sich insbesondere das Verfassen schriftlicher Erklärungen als effektivere Vorgehensweise gegenüber der Erstellung videobasierter Erklärungen. Zwischen den unterschiedlichen Arten verwendeter Lernvideos konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede im Lernfortschritt der Studierenden festgestellt werden. Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Lernen durch Erklären eine effektive Strategie zur gezielten und nachhaltigen Förderung des Wissenserwerbs von Studierenden in Einführungsveranstaltungen darstellen kann.

Danksagung

Diese Arbeit wäre ohne das Vertrauen, die Hilfe und die Ermutigung vieler Menschen nicht entstanden. Ihnen allen möchte ich von Herzen danken.

Zuallererst richtet sich mein besonderer Dank an meinen Doktorvater Oliver Tepner. Lieber Oli, ich danke dir vor allem für dein Vertrauen in mich! Du hast mich in meinem Forschungsvorhaben stets bestärkt und mir die Freiheiten gewährt, die diese Arbeit zu meinem eigenen Werk gemacht haben. Danke für deine Unterstützung, auf die ich mich immer verlassen konnte. Du wurdest nicht müde darin, mich zu motivieren und mit aufmunternden Worten anzuspornen. Danke für drei entscheidende Jahre meines Lebens, die mich in vielerlei Hinsicht bereichert haben.

Mein Dank gilt auch dem gesamten Prüfungsausschuss für die Begleitung meines Promotionsverfahrens. Danke an Stefan Krauss, dass Sie sich bereit erklärt haben, diese Arbeit als Zweitgutachter zu betreuen. Danke an Arne für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und darüber hinaus für deine Unterstützung und wertvollen Ratschläge. Ein weiteres Dankeschön gilt Jonathan, der die Durchführung der Erhebungen durch die Bereitstellung von Vorlesungszeiten ermöglicht und mich zudem bei der Entwicklung des Fachwissenstests unterstützt hat.

Ein großes Dankeschön geht an die Arbeitsgruppe der Chemiedidaktik – sowohl an aktuelle als auch an ehemalige Mitarbeitende. Danke für die wertschätzende Arbeitsatmosphäre, die unzähligen Kaffeepausen und all die Momente, in denen wir nicht nur kollegial, sondern auch freundschaftlich verbunden waren. Ihr habt diese Zeit zu etwas Besonderem gemacht.

Ein großes Dankeschön gilt meiner Familie. Danke an meine Eltern, die mich stets unterstützt und motiviert haben. Ես անչափ շնորհակալ եմ ձեզ ամեն ինչի համար: Առանց ձեզ ես չէի հասնի այսքանին:

Danke an meine Schwestern, dass ich bei euch den Frust, den die Promotion mit sich brachte, abladen durfte. Besonderer Dank gilt euch, Asnif und Rihan. Ihr habt euch immer wieder in meine Arbeit hineingedacht und mir geholfen, aus anderen Blickwinkeln auf die Probleme zu schauen und mir damit oft die nötige Klarheit verschafft.

Ein besonderer Dank gilt dir, lieber Seb. Ich danke dir von Herzen, dass ich mich jederzeit auf deine Unterstützung verlassen konnte. Dein Humor, die Ruhe, die du ausstrahlst und deine pragmatischen Entscheidungshilfen haben mich durch jede Phase der Promotion begleitet. Danke, dass du nie müde wurdest, auch die kleinsten fachlichen, methodischen oder statistischen Fragen mit mir zu diskutieren. Du hast mich und diese Arbeit in ganz besonderem Maße geprägt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
2	Theoretischer Hintergrund	15
2.1	Theorien zum multimedialen Lernen	15
2.1.1	Cognitive Load Theory	16
2.1.2	Cognitive Theory of Multimedia Learning.....	17
2.1.3	Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses	20
2.2	Erklären im Fach Chemie	22
2.2.1	Begriffsbestimmung	23
2.2.2	Qualitätskriterien.....	28
2.2.3	Lernen durch Erklären.....	38
2.3	Erklärvideos	44
2.3.1	Begriffsbestimmung	45
2.3.2	Qualitätskriterien.....	46
2.3.3	Einsatzmöglichkeiten von Erklärvideos	51
2.4	Beispielbasiertes Lernen.....	54
2.4.1	Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen.....	54
2.4.2	Video-Modeling-Examples	58
3	Ziele und Fragestellungen	63
3.1	Förderung und Erfassung von Fachwissen.....	64
3.1.1	Förderung von Fachwissen durch das Erstellen von Lernvideos	64
3.1.2	Förderung von Fachwissen durch das Erstellen schriftlicher Erklärungen	65
3.1.3	Vergleich der Wirksamkeit schriftlicher und videografischer Erklärungen	66
3.2	Förderung und Erfassung von Erklärkompetenz.....	67
3.2.1	Zusammenhang zwischen Erklärkompetenz und Lernzuwachs.....	67

3.2.2	Analyse des Kodiermanuals zur Erfassung der Erklärkompetenz	68
4	Methodik und Studiendesign	69
4.1	Design	69
4.1.1	Seminarkonzept	71
4.1.2	Untersuchungsdesign	88
4.1.3	Beschreibung der Stichprobe	89
4.1.4	Begründung der Themenauswahl	91
4.1.5	Entwicklung der Videos	93
4.1.6	Sachanalyse	99
4.2	Erhebungsinstrumente	110
4.2.1	Entwicklung des Fachwissenstests	110
4.2.2	Kodiermanual zur Erfassung der Qualität schriftlicher Erklärungen	118
4.2.3	Weitere Erhebungsinstrumente	130
4.2.4	Auswertungsverfahren	139
4.3	Gütekriterien	146
5	Ergebnisse	149
5.1	Präpilotstudie	149
5.2	Pilotstudie	155
5.3	Hauptstudie	158
5.3.1	Ergebnisse zur Förderung und Erfassung des Fachwissens	159
5.3.2	Einfluss von Kovariablen auf die Entwicklung des Fachwissens	183
5.3.3	Ergebnisse zur Förderung und Erfassung der Erklärkompetenz	188
6	Diskussion	197
6.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	197
6.1.1	Förderung und Erfassung von Fachwissen	197
6.1.2	Förderung und Erfassung von Erklärkompetenz	203
6.2	Diskussion forschungsmethodischer Aspekte	207

7	Zusammenfassung und Ausblick.....	211
8	Literaturverzeichnis.....	215
9	Abbildungsverzeichnis.....	237
10	Tabellenverzeichnis.....	241
11	Anhang mit allen Materialien	251
	11.1 Inhalte der Seminare	251
	11.2 Skripte der Lernvideos.....	272
	11.2.1 Erklärvideos.....	272
	11.2.2 Video-Modeling-Examples	276
	11.3 Erhebungsinstrumente	281
	11.3.1 Fachwissenstest	281
	11.3.2 Kodiermanual zum Fachwissenstest.....	286
	11.3.3 Kodiermanual zur Erfassung der Qualität schriftlicher Erklärungen	294
	11.4 Evaluation der Pilotstudie.....	310
	11.5 Detaillierte Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie.....	312
	11.6 Detaillierte Ergebnisse zu den Forschungsfragen	320

1 Einleitung

Der Lehrkräftemangel an deutschen Schulen stellt gegenwärtig eines der drängendsten und zentralen Probleme in den Bildungssystemen aller deutschen Bundesländer dar. In vielen Schulformen und Fächern, insbesondere in den MINT-Fächern, fehlen qualifizierte Lehrkräfte, was zunehmend zu Herausforderungen im Schulalltag führt (Robert Bosch Stiftung, 2023). Prognosen zufolge muss davon ausgegangen werden, dass dieses Problem noch für einen langen Zeitraum bestehen bleiben wird. Die Prognosen des Forschungsinstituts für Bildungs- und Sozialökonomie (FiBS) lassen den Schluss zu, dass sich der Lehrkräftemangel an allgemeinbildenden Schulen bis in die Mitte der 2030er-Jahre auf mindestens 115.000 Personen belaufen wird (Dohmen, 2024). Auch die Prognosen der Kultusministerkonferenz (KMK) auf Basis der Anzahl der Schüler:innen weisen mit Ausnahme des Primarbereichs auf einen großen Lehrkräftemangel hin (KMK, 2023). Der Mangel ist laut dem FiBS nicht nur auf die steigende Zahl der zu erwartenden Schüler:innen zurückzuführen. Von entscheidender Bedeutung ist die unzureichende Anzahl an nachrückenden Lehrkräften, die an die Stelle der aus dem Schuldienst ausscheidenden Lehrkräfte treten (Dohmen, 2024). Sondermaßnahmen wie Quer- oder Seiteneinsteiger sollen dabei helfen, dem Lehrkräftemangel entgegen zu wirken (Tillmann, 2020; Vairo Nunes, 2023). Diese Maßnahme dient jedoch lediglich dazu, den weiter fortschreitenden Mangel an nachrückenden Lehrkräften am Arbeitsmarkt auszubremsen. Das eigentliche Problem der sinkenden Anzahl an ausgebildeten Lehramtsstudierenden, die das Studium erfolgreich beenden und in den Beruf einsteigen, wird durch diese Maßnahme nicht behoben. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, bereits an den Hochschulen Maßnahmen zur Behebung des Lehrkräftemangels zu implementieren. Dies verdeutlichen auch die insbesondere in den Naturwissenschaften hohen Studienabbruchquoten an deutschen Universitäten.

Laut aktuellen Untersuchungen liegt die Studienabbruchquote in mathematisch-naturwissenschaftlichen Bachelorstudiengängen bei 50 % (Heublein et al., 2022). In diesen Fächergruppen lassen sich im Vergleich zu den Vorjahren gesteigerte Abbruchquoten feststellen. Im Hinblick auf die Abbruchquote im Lehramtsstudium wird ein Wert von 10 % berichtet, wobei sich diese Angabe auf das allgemeine Lehramtsstudium bezieht und keine Differenzierung nach Fächern vorgenommen wird (Heublein et al., 2022). In Anbetracht der hohen Anzahl von Studi-

enabbrecher:innen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern des Bachelorstudiums ist zu erwarten, dass sich dies in dem Studiengang des Lehramts widerspiegelt. Die Gründe des Studienabbruchs in Mathematik und den Naturwissenschaften liegen insbesondere an den Leistungsproblemen und am Prüfungsversagen der Studierenden (Fischer et al., 2021; Heublein et al., 2010). Dies führt zu höheren Studienabbruchquoten besonders in den Anfangssemestern des Studiums (Fischer et al., 2021; Freyer, 2013; Heublein et al., 2010).

Die hohen Abbruchquoten in der Studieneingangsphase im Fach Chemie sind Anlass, den Gründen für die Problematik nachzugehen. In mehreren Untersuchungen wurde dabei das Vorwissen als maßgeblicher Prädiktor für den Studienerfolg im Fach Chemie und gleichzeitig als entscheidende Ursache für den Studienabbruch identifiziert (u.a. Averbek et al., 2018; Fischer et al., 2021; Fleischer et al., 2019; Freyer, 2013; Hailikari & Nevgi, 2010). Averbek (2020) zeigte, dass Fachwissen sowohl in der Vorlesung „Allgemeine Chemie“ als auch im weiteren Studienverlauf den stärksten Prädiktor für den Studienerfolg von Chemiestudierenden darstellt. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, effektive Methoden zu finden, um den Wissenserwerb der Studierenden hinsichtlich der Einführungsveranstaltung nachhaltig zu fördern.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde vor dem Hintergrund der Förderung des Wissenserwerbs im Rahmen der Einführungsveranstaltung „Allgemeine Chemie“ an der Universität Regensburg ein Seminarkonzept entwickelt, welches zudem die Förderung der Erklärkompetenz angehender Chemie-Lehrkräfte zum Ziel hat. Dazu generierten die Studierenden zu Themen der analytischen und anorganischen Chemie entweder eigenständig Lernvideos oder schriftliche Erklärungen im Anschluss an fremderstellte Lernvideos. Dies erfolgte jeweils dreimal parallel zu den Vorlesungen der Einführungsveranstaltung „Allgemeine Chemie“. Zur Evaluierung der Effektivität des Studiendesigns wurde der Wissenszuwachs der Studierenden der Seminargruppen mit dem einer Kontrollgruppe verglichen, welche keine Förderung durch das Erstellen von Erklärungen erhielt. Zur Erfassung des kurzfristigen sowie langfristigen Wissenserwerbs wurde ein spezifisch für diese Studie entwickelter Fachwissenstest im Prä-Post-Follow-Up-Design eingesetzt. Die Messung der Erklärkompetenz der Chemie-Lehramtsstudierenden erfolgte anhand der Bewertung der schriftlichen Erklärungen. Dazu wurde ein Kodiermanual unter Berücksichtigung empirisch untersuchter Qualitätskriterien guter Erklärungen entwickelt und eingesetzt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich in *Kapitel 2* zunächst mit dem theoretischen Hintergrund, auf welchem das Seminarkonzept basiert. Dabei werden ausgehend

von den Theorien zum multimedialen Lernen (2.1) lernförderliche Aspekte hinsichtlich der Gestaltung von Lernvideos ausgearbeitet. Die inhaltliche Gestaltung einer Erklärung (2.2) wird anschließend insbesondere mit Fokus auf die Qualitätskriterien von Erklärungen dargelegt. Abschließend werden unter besonderer Berücksichtigung empirischer Arbeiten theoretische Grundlagen des Lernens mit Erklärvideos (2.3) und Video-Modeling-Examples (2.4) erörtert. Aus den theoretischen Grundlagen werden die Ziele der Studie abgeleitet, welche in *Kapitel 3* dargestellt werden. Die entsprechenden Forschungsfragen sind teilweise explorativ formuliert und teilweise mit Hypothesen begleitet. In *Kapitel 4* wird die Methodik des Studiendesigns erläutert, wobei das Design der Arbeit (4.1), die eingesetzten Erhebungsinstrumente (4.2) sowie das Kodiermanual (4.2.2) vorgestellt werden. Zudem werden die inhaltsanalytischen Auswertungsverfahren (4.2.4) und die Gütekriterien dargelegt (4.3), welche der Arbeit zu Grunde liegen. Die zur Beantwortung der Forschungsfragen dienlichen Ergebnisse werden in *Kapitel 5* vorgestellt. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der Voranalysen im Rahmen der Präpilot- sowie Pilot-Studie dargelegt. Anschließend erfolgt der Bericht der Ergebnisse der Hauptstudie (5.3) hinsichtlich des Wissenszuwachses (5.3.1) sowie des Einflusses erfasster Kovariablen auf den Wissenszuwachs (5.3.2). Ergänzend werden die Daten in Bezug auf die Erklärkompetenz der Studierenden präsentiert (5.3.3). Die Ergebnisse sowie forschungsmethodische Aspekte der Studie werden in *Kapitel 6* diskutiert und reflektiert. Abschließend erfolgt in *Kapitel 7* eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit.

2 Theoretischer Hintergrund

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Gestaltung digitaler Medien unter der Berücksichtigung von Theorien zum multimedialen Lernen diskutiert, bevor instruktionale Erklärungen im Zusammenhang mit entsprechenden Qualitätskriterien näher betrachtet werden. Dabei wird die Wirksamkeit der Rezeption von instruktionalen Erklärungen mit Studien zur Generierung von instruktionalen Erklärungen verglichen. Unter dem Aspekt des Rezipierens instruktionaler Erklärungen wird das Medium Erklärvideo als Unterstützung im Lernprozess fokussiert. Als alternatives Unterstützungsmedium werden abschließend Video-Modeling-Examples in den Fokus vorgestellt. Sowohl das instruktionale als auch das beispielbasierte Lernvideoformat werden darüber hinaus als Methode für das Lernen durch eigenständiges Gestalten betrachtet.

2.1 Theorien zum multimedialen Lernen

Die Lernwirksamkeit von digitalen Medien beruht nicht auf dem Medium an sich, sodass nicht der Einsatz jedes digitalen Mediums zur Verbesserung von Lernprozessen beiträgt. Vielmehr ist es erforderlich, kognitive Verarbeitungsprozesse der Lernenden durch digitale Medien anzuregen. Dies sollte bei der Entwicklung wie auch beim Einsatz dieser berücksichtigt werden (Böhme & Munser-Kiefer, 2020). Um dies zu ermöglichen, sollten Erkenntnisse aus den Theorien des multimedialen Lernens einbezogen werden. Diese werden im Folgenden genauer erläutert.

Die *Dual Coding Theory* nach Paivio (1986) bildet die Grundlage vieler darauffolgender Theorien zum multimedialen Lernen. In dieser Theorie wird zwischen zwei Subsystemen unterschieden, in welchen verbale und nonverbale Informationen getrennt voneinander aufgenommen und verarbeitet werden (Paivio, 1990). Aufgrund der Separation der Informationssysteme sind diese funktionell unabhängig, wodurch entweder nur eines der Systeme oder beide parallel aktiviert werden können. Dennoch kann durch Interaktion zwischen den Subsystemen Informationsaustausch erfolgen (Paivio, 1990). Durch die Verknüpfung verbaler und nonverbaler Informationen wird der Lernprozess unterstützt (Paivio, 1990). Dies bietet die Möglichkeit zur Entwicklung effektiver Lernumgebungen.

2.1.1 Cognitive Load Theory

Eine differenziertere Theorie des multimedialen Lernens stellt die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991) dar. In einer multimedialen Lernumgebung präsentierte Informationen werden zunächst im Arbeitsgedächtnis aufgenommen und dort verarbeitet. Die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991) stützt sich auf der Annahme einer begrenzten Kapazität der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis. Das Langzeitgedächtnis, in welches die verarbeiteten Informationen des Arbeitsgedächtnisses übertragen werden, besitzt hingegen eine annähernd uneingeschränkte Kapazität. Somit hat das Arbeitsgedächtnis eine entscheidende Schlüsselfunktion inne, da dieses den limitierenden Faktor darstellt. Im Langzeitgedächtnis wird Wissen in Form von Schemata gespeichert, welche als kognitive Konstrukte mehrere Elemente von Informationen als ein einzelnes Element betrachten (Paas et al., 2003; Sweller, 2003; Sweller et al., 1998). Die im Langzeitgedächtnis gespeicherten Schemata können die Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis unterstützen, indem sie zur Verarbeitung komplexer Informationen eingesetzt werden. Je automatisierter die Schemata angewendet werden, desto stärker wird die kognitive Überlastung des Arbeitsgedächtnisses reduziert (Paas et al., 2003; Sweller et al., 1998). Die Automatisierung entsteht durch Einübung und dem vermehrten Einsatz der Schemata, welches infolgedessen zu effizienteren und exakteren Problemlösevorgängen führt (Sweller et al., 1998).

Das Vorhandensein von Schemata grenzt Experten von Novizen ab. Experten sind in der Lage, mithilfe der Schemata Problemstellungen zu kategorisieren, um diese nachfolgend zu lösen (Cooper, 1990). Den Novizen fehlen demnach diese kognitiven Fähigkeiten, sodass sie Probleme langsamer und fehlerbehafteter lösen. Damit sich aus Novizen Experten entwickeln, müssen entsprechende Schemata erworben werden (Cooper, 1990). Dies setzt jedoch die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen im Arbeitsgedächtnis voraus.

Neben der Art der Informationsverarbeitung kann auch die Art der Informationsdarstellung zum *Cognitive Load* beitragen. Dabei wird zwischen drei Arten der kognitiven Belastung unterschieden (Chandler & Sweller, 1991; Paas et al., 2003). Die intrinsische kognitive Belastung, die extrinsische kognitive Belastung und die lernrelevante kognitive Belastung (Nerdel, 2017; Paas et al., 2003). Die Beanspruchung kognitiver Ressourcen im Arbeitsgedächtnis durch das Lernmaterial selbst wird als intrinsische kognitive Belastung bzw. *Intrinsic Cognitive Load* bezeichnet.

net. Diese hängt von der Komplexität des Inhaltes und dem Vorwissen des Lernenden ab (Paas & Sweller, 2021). Hierbei helfen im Langzeitgedächtnis verankerte Schemata und ihr automatisierter Einsatz, den *Cognitive Load* zu reduzieren, um die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses zum Verständnis des neu zu lernenden Bereichs zu nutzen. Die lernrelevante kognitive Belastung bzw. der *Germane Cognitive Load* resultiert aus dem Aufwand, Schemata zu erlernen und ihren Einsatz zu automatisieren. Kognitive Belastung, die dem Lernen hinderlich ist, wird als extrinsische Belastung bzw. *Extraneous Cognitive Load* bezeichnet. Dies kann durch die Art der Darstellung neuer Informationen und erforderlicher Lernaktivitäten beeinflusst werden. So können die mentalen Kapazitäten durch Lernmaterialien überlastet werden, welche ihrerseits mit Informationen überladen sind und nicht lernrelevante Elemente beinhalten (Paas et al., 2003). Um den Wissenserwerb und das Verständnis zu erleichtern, sollte die extrinsische Belastung durch eine effektive Gestaltung des Lernmaterials möglichst gering gehalten werden. Die Reduktion von extrinsischer Belastung erlaubt die Erhöhung der lernrelevanten kognitiven Belastung, welches die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses zur Aneignung von Schemata bereitstellt. Dies kann dann optimalen Lernerfolg bewirken (Chandler & Sweller, 1991). Der *Cognitive Load* bedingt sich demnach aus den drei Arten der kognitiven Belastung, wobei die intrinsische Belastung die Grundlage bildet, da diese abhängig von den Inhalten und dem Vorwissen ist. Die weiteren Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses werden dann für die extrinsische und lernrelevante Belastung aufgewendet (Paas et al., 2003).

2.1.2 Cognitive Theory of Multimedia Learning

Die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991) lässt sich auch auf das Lernen in multimedialen Lernumgebungen beziehen. Mayer (1997) kategorisiert den Begriff „Multimedia“ im Rahmen seiner *Cognitive Theory of Multimedia Learning* nach Art der medialen Übertragung, der Präsentation und der Sinnesmodalität. Die Art der medialen Übertragung bezieht sich auf das gewählte technische Medium, etwa analoge oder digitale Formen der Darstellung. Das Präsentationsformat hingegen beschreibt, in welcher Darstellungsform Informationen präsentiert werden, beispielsweise in Textformat oder durch Bilder. Sinnesmodalität spricht den betroffenen Sinneskanal an, wie den Hör- oder Sehsinn (Mayer, 1997). Multimediales Lernen zeichnet sich dabei dadurch aus, dass Informationen auf mehr als eine Darstellungsweise angeboten werden, wie beispielsweise als Text

und als Bild (Mayer, 1997). Mayers (2001) *Theorie des multimedialen Lernens* befasst sich mit Prinzipien zur Gestaltung effektiver multimedialer Lernumgebungen. Dabei geht er von drei zentralen Annahmen aus: Entsprechend der *Dual Coding Theory* nach Paivio (1986) nimmt er einen sprachlichen und einen visuellen Sinneskanal zur Informationsverarbeitung an, die voneinander getrennt sind. Die Annahme einer begrenzten Kapazität zur Informationsaufnahme basiert auf Baddeley (1992), welche auch die Grundlage der *Cognitive Load Theory* von Chandler und Sweller (1991) bildet. Als dritte Annahme legt Mayer (2001) fest, dass bedeutungsvolles Lernen die aktive Verarbeitung aufgenommener Informationen voraussetzt. Dabei finden drei Prozesse statt: Selektieren relevanter Informationen, Organisieren der ausgewählten Informationen und Integrieren in bereits bestehendes Wissen.

In Abbildung 2-1 wird das Modell der Informationsverarbeitung nach der Theorie des multimedialen Lernens dargestellt. Diese wird im Folgenden genauer erläutert.

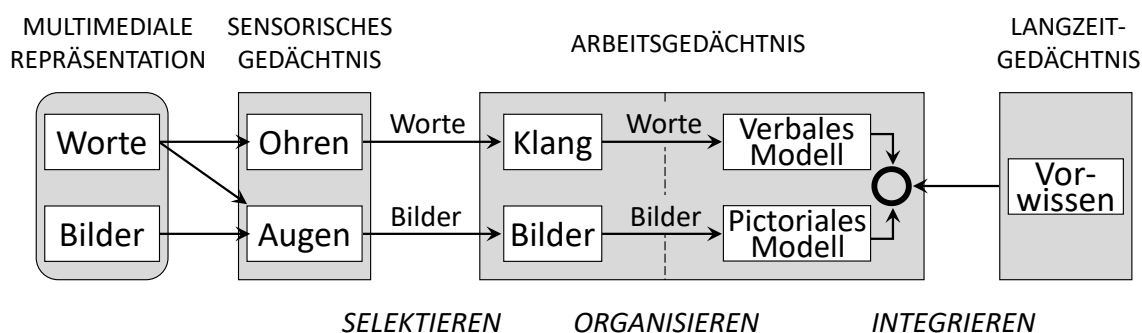


Abbildung 2-1: Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009). Eigene Darstellung in Anlehnung an Schanze und Girwidz (2018, S. 179)

Multimediale Repräsentationen in Form von Worten oder Bildern erreichen das sensorische Gedächtnis über die Ohren oder Augen. Ankommende Bilder werden kurzzeitig im visuellen sensorischen Gedächtnis exakt abgebildet, während Worte abhängig ihrer Darstellungsform entweder im visuellen oder echoischen sensorischen Gedächtnis exakt aufgenommen werden. Die Informationen werden anschließend in getrennten Kanälen selektiert. Im Arbeitsgedächtnis werden die relevanten Informationen in ihren Kanälen weiterverarbeitet, wobei Informationen aus Klang und Bild miteinander abgeglichen werden, bevor diese durch Organisieren in verbale und bildliche Modelle überführt werden (Schanze & Girwidz, 2018). Die Informationen werden abschließend ineinander und in das Vorwissen

aus dem Langzeitgedächtnis integriert. Das Zusammenwirken aus Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis ermöglicht dabei die Herstellung von Zusammenhängen (Mayer, 2009).

Unter Berücksichtigung dieser Theorie legt Mayer (2009) auf Basis empirischer Untersuchungen zwölf multimediale Gestaltungsprinzipien fest.

Das *Kohärenzprinzip* besagt, dass diejenigen Informationen, welche nicht zum Lernprozess beitragen, ausgelassen werden sollen. Dadurch würden keine weiteren Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses zur Verarbeitung irrelevanter Informationen gebraucht werden. Um die Aufmerksamkeit der Lernenden auf wesentliche Informationen zu lenken, sollten diese qua *Signalisierungsprinzip* hervorgehoben werden. Mit Beachtung des *Redundanzprinzips* soll vermieden werden, dass Informationen redundant präsentiert werden. So bedarf es zum gesprochenen Text keinen zusätzlich geschriebenen (Mayer, 2009). Nach dem *räumlichen bzw. zeitlichen Kontiguitätsprinzip* sollten zueinander gehörende Text- und Bildinformationen sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Nähe zueinander präsentiert werden (Schanze & Girwidz, 2018). Dadurch wird sichergestellt, dass zusammenhängende Informationen im Arbeitsgedächtnis parallel verarbeitet werden (Mayer, 2009). Die bisher genannten Prinzipien dienen der Minimierung irrelevanter Prozesse, die nicht zum Lernen der wesentlichen Inhalte beitragen.

Die folgenden drei Prinzipien befassen sich mit der Repräsentation essenzieller Prozesse im Arbeitsgedächtnis (Mayer, 2009). Das *Segmentierungsprinzip* besagt, dass eine Unterteilung der Lerninhalte in Lernabschnitte, die für die Lernenden geeignet sind, lernförderlicher ist als ihre kontinuierliche Präsentation. Nach dem *Vortrainingsprinzip* sollten vor Nutzung multimedialer Lernumgebungen die wichtigsten Begriffe und Konzepte bekannt sein. Die anschließende Nutzung des multimedialen Angebots führt zu einem höheren Lernerfolg (Mayer, 2009). Das *Modalitätsprinzip* adressiert die Art des Textes, welches zusätzlich zu grafischen Darstellungen mit hoher Informationsdichte angeboten wird (Schanze & Girwidz, 2018). Dabei sind gesprochene Texte hilfreicher als geschriebene, da diese im echoischen Gedächtnis verarbeitet werden und die Kapazitäten im visuellen Gedächtnis allein für die Darstellungen aufgewendet werden können (Mayer, 2009). Die weiteren Gestaltungsprinzipien nach Mayer (2009) dienen der Förderung generativer Prozesse. Nach dem *Multimediaprinzip* ist Lernen erfolgreicher, wenn Informationen in Form von Worten und Bildern präsentiert werden und nicht allein durch Wörter. Mit dem *Personalisationsprinzip* wird verdeutlicht, dass eine di-

rekte Anrede der Lernenden hilfreicher ist als die Verwendung einer formalen Ansprache (Schanze & Girwidz, 2018). Zusätzlich sollte der Klang der verwendeten *Stimme* in multimedialen Lernumgebungen möglichst natürlich wirken und nicht maschinell erscheinen. Ein vorhandenes *Sprecherbild* führt des Weiteren nicht zu höherem Lernerfolg (Mayer, 2009; Schanze & Girwidz, 2018).

Die Berücksichtigung der Gestaltungsprinzipien vermeidet eine Überlastung der Verarbeitungskapazität des kognitiven Systems. Diese kognitive Überlastung wird in der Literatur als *Cognitive Overload* bezeichnet und stellt in Bezug auf die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen eine zentrale Herausforderung dar (Mayer & Moreno, 2003). Neben der Vermeidung eines *Cognitive Overloads* ist es für den Gestaltenden eines Lernmediums zusätzlich von Bedeutung, wie Verarbeitung von Text- und Bilddarstellungen seitens der Lernenden zu verstehen. Dies wird nachfolgend dargestellt.

2.1.3 Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses

Das *Integrated Model of Text and Picture Comprehension* nach Schnotz und Bannert (2003) bietet eine Erklärung dafür, wie Darstellungen von Text und Bild verarbeitet und verstanden werden (Abbildung 2-2).

In dem Modell wird dabei zwischen zwei Repräsentationsformen unterschieden. Textbasierte Repräsentationen beruhen auf Symbolen, wie beispielsweise Buchstaben, während bildbasierte Darstellungen durch analoge Modelle abgebildet werden (Schanze & Girwidz, 2018). Wie Abbildung 2-2 zu entnehmen ist, werden Texte und Bilder zunächst getrennt voneinander verarbeitet und über mehrere Organisationsprozesse in mentale Repräsentationen umgewandelt. Hierbei sind die textbasierten kognitiven Repräsentationen an der Sprache orientiert, wogegen die visuellen mentalen Repräsentationen den Bildern komparabel vorliegen (Schanze & Girwidz, 2018). Diese werden zu mentalen Modellen weiterverarbeitet, während die textbasierten Repräsentationen in propositionale Repräsentationen überführt werden. Über Modellkonstruktion und Modellinspektion findet eine wechselseitige Verknüpfung zwischen mentalen Modellen und Propositionen statt (Schnotz & Bannert, 2003).

Die Art der Konstruktion von Wissen durch Organisation und Integration wesentlicher Informationen in multimedialen Lernumgebungen zeigt Ähnlichkeit zur *Cognitive Theory of Multimedia Learning* nach Mayer (1997) auf.

Das Verständnis darüber, wie Wissen in multimedialen Lernumgebungen konstruiert wird, ist Grundlage für die lernförderliche Gestaltung auf multimedialer

Ebene. Zusätzlich ist es von Bedeutung, die inhaltliche Erklärung entsprechend zu gestalten, welche im Folgenden thematisiert wird.

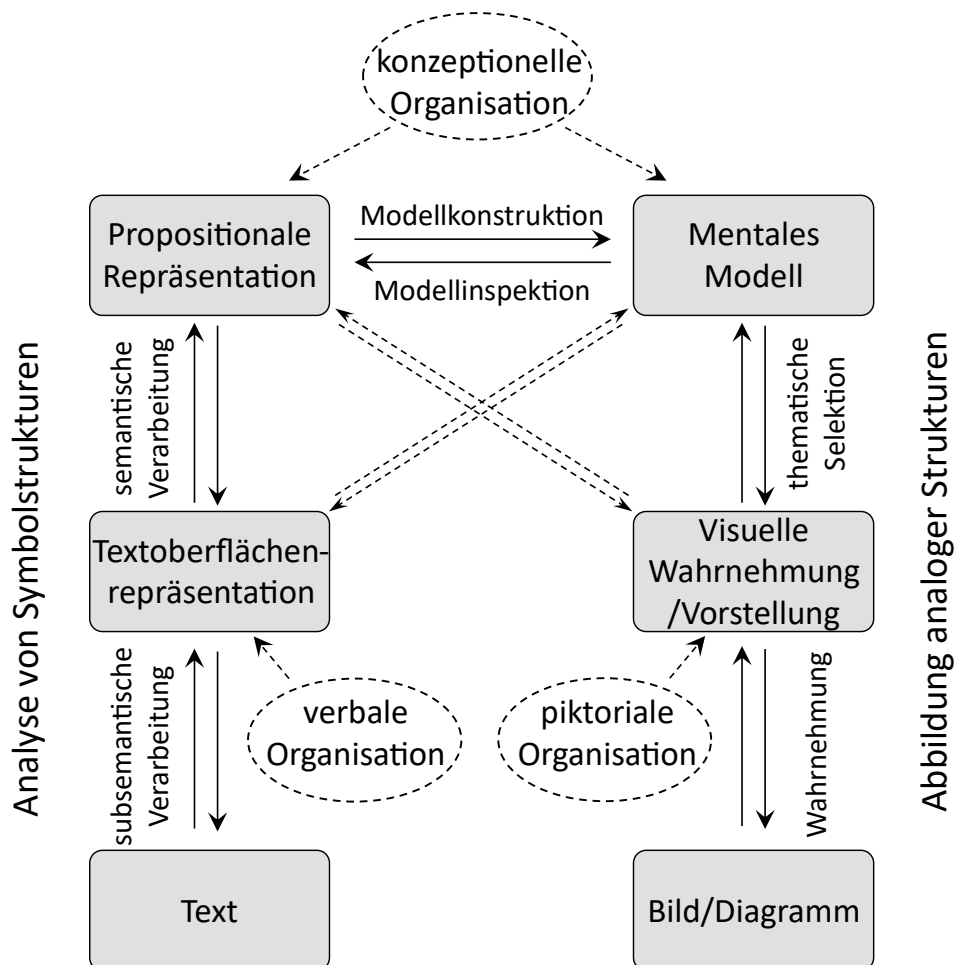


Abbildung 2-2: Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses nach Schnotz und Bannert (2003). Eigene Darstellung in Anlehnung an Schanze und Girwidz (2018, S. 181)

2.2 Erklären im Fach Chemie

Aus Sicht der Wissenschaftstheorie ist die Erklärung das wesentliche Ziel in den Naturwissenschaften (Strevens, 2006; Wright, 1991). Aus Perspektive der Unterrichtsforschung dient das Erklären primär der Wissensvermittlung, welches das zentrale Ziel des Unterrichts darstellt (Baumert & Kunter, 2006; Heinze, 2022; Kulgemeyer, 2019b). Die Fähigkeit einer Lehrkraft, erklären zu können, stellt insbesondere in den Naturwissenschaften eine grundlegende Kompetenz dar (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015; Osborne & Patterson, 2011).

Welche Bedeutung das Erklärungswissen für das Professionswissen von Lehrkräften hat, wurde im Bereich der Mathematik in der COACTIV-Studie (*Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung mathematischer Kompetenz*) evaluiert (Krauss et al., 2004; Krauss et al., 2008; Neubrand, 2005). Die Taxonomie der einzelnen Bereiche des Lehrkräfteprofessionswissens, auf welche sich die COACTIV-Studie bezieht, wurde von Shulman (1986) entwickelt. Insbesondere die Kategorien Fachwissen (*Content Knowledge*), pädagogisches Wissen (*Pedagogical Knowledge*) und fachdidaktisches Wissen (*Pedagogical Content Knowledge*) sind in der Unterrichtsforschung von großen Interesse (Borowski et al., 2010; Krauss et al., 2008). Das fachdidaktische Wissen unterteilt sich dabei in das Erklärungswissen und der diagnostischen Kompetenz (Krauss et al., 2004; Krauss et al., 2008). Damit steht diese Kategorie insbesondere im Zusammenhang mit der Wissensvermittlung (Borowski et al., 2010). Die COACTIV-Studie hat dazu beigetragen, den positiven Zusammenhang zwischen fachdidaktischem Wissen der Lehrkräfte mit dem Lernzuwachs der Schüler:innen empirisch nachzuweisen (Krauss et al., 2008). Die Ergebnisse der COACTIV-Studie boten Anlass zur Entwicklung diverser Forschungsprojekte, um das Erklärungswissen genauer zu untersuchen (Lindl et al., 2019; Röhl & Krauss, 2017).

Das folgende Kapitel befasst sich mit dem Erklären im Fach Chemie. Zunächst wird dabei erläutert, wie *Erklären* aus wissenschaftlicher und unterrichtlicher Sicht definiert werden kann. Anschließend werden Kriterien effektiver Erklärungen dargestellt, bevor auf die Lernmethode des eigenständigen Erklärens übergeleitet wird.

2.2.1 Begriffsbestimmung

Das sogenannte deduktiv-nomologische-Modell stellt ein bedeutsames Modell wissenschaftlicher Erklärungen dar und wurde von Hempel und Oppenheim (1948) entwickelt. In dem Modell wird das Erklärende als *Explanans* bezeichnet und setzt sich zusammen aus allgemeingültigen Gesetzen und den dazugehörigen Randbedingungen (A. Wagner & Wörn, 2011). Das *Explanandum* bezeichnet das zu erklärende Ereignis, Phänomen oder die zu erklärende Beobachtung. Ziel der Erklärung ist der logische Schluss von *Explanans* auf *Explanandum* (A. Wagner & Wörn, 2011). Nach A. Wagner und Wörn (2011) handelt es sich bei der Erklärung dabei um eine Kausalkette, da die Beziehung zwischen Ursache und Wirkung aufgegriffen wird. Die Bedeutung des deduktiven Charakters wissenschaftlicher Erklärungen wird in dem Modell hervorgehoben (Kulgemeyer, 2019b). Der Prozess des Erklärens wird durch die Arbeit von Kiel (1999) konkreter modelliert. Eine Stufe des Erklärens stellt die Übertragung von Wissen auf die Lernenden dar mit dem Ziel, Verständnis zu vermitteln. Auf der Stufe der Entwicklung von Wissen erfolgt die Aneignung des Wissens durch die Lernenden in einem selbstständigen Prozess. Auf der Stufe des Aushandelns von Wissen findet hingegen eine Aushandlung des bestehenden Wissens im Rahmen von Gesprächen statt (A. Wagner & Wörn, 2011). J. Klein (2009) befasst sich ebenfalls mit der Untersuchung des Erklärprozesses und sieht diesen als Mittel zur Wissensvermittlung mit perlokutivem Effekt an. Unter *perlokutiv* wird dabei die Wirkung eines Sprechakts verstanden, die sich aus der gewählten Phonetik, Grammatik oder Semantik ergibt und damit Aspekte umfasst, die über die rein kognitive Wissensvermittlung hinausgehen. Zudem wird die Bedeutung der Wissensasymmetrie verdeutlicht, welches sich in einem höherem Wissensstand des Erklärenden gegenüber den Lernenden widerspiegelt (Findeisen, 2017; Prediger & Erath, 2014).

Braaten und Windschitl (2011) unterscheiden zwischen verschiedenen Arten wissenschaftlicher Erklärungen. Zum Einen betrachten sie Erklärungen als Form der Begriffserläuterung oder als Erläuterungen von Naturphänomenen und wissenschaftlichen Konzepten (Braaten & Windschitl, 2011; S. Wagner & Priemer, 2023). Des Weiteren differenzieren sie zwischen kausalen und argumentativen Erklärungen (Braaten & Windschitl, 2011). Kausale Erklärungen ziehen zugrunde liegende Eigenschaften der natürlichen Welt heran, um beobachtbare Phänomene zu erklären. Argumentative Erklärungen hingegen stützen sich auf Beweise und

Logik, um Behauptungen zu rechtfertigen (Braaten & Windschitl, 2011; S. Wagner & Priemer, 2023).

In ihren Analysen richten Braaten und Windschitl (2011) den Fokus auf wissenschaftliche Erklärungen. Diese sind von Erklärungen in Bildungskontexten abzugrenzen (Kulgemeyer, 2019b). Diese werden gezielt für den Zweck des Unterrichts konzipiert und daher als instruktionale Erklärungen klassifiziert (Leinhardt & Steele, 2005; Wittwer & Renkl, 2008). Eine mögliche Differenzierung zwischen naturwissenschaftlichen Erklärungen und Erklärungen im naturwissenschaftlichen Unterricht bietet Geelan (2012). Naturwissenschaftliche Erklärungen zeichnen sich dabei durch ihre Evidenzbasierung, den Theoriebezug und die Verwendung wissenschaftlicher Terminologie aus. Erklärungen in Bildungskontexten beruhen auf Kommunikation und bestehen aus dem Zusammenspiel das „Was“, „Wie“ und „Warum“ zu erklären. *Was-Erklärungen* befassen sich mit der Erklärung von Fachbegriffen verknüpft mit der Intention, Bestimmungsmerkmale zu definieren (J. Klein, 2009; Neumeister, 2011; Röhl & Krauss, 2017; Schmidt-Thieme & Wagner, 2007; A. Wagner & Wörn, 2011). Während *Wie-Erklärungen* Konzepte und Algorithmen anwenden und prozedurales Wissen voraussetzen, stellen *Warum-Erklärungen* Zusammenhänge dar (Schmidt-Thieme, 2014; A. Wagner & Wörn, 2011). Kulgemeyer (2019b) hebt in unterrichtlichen Erklärungen die Bedeutung des Aspekts Kommunikation hervor. Nach Leinhardt (2001) stellt die Interaktion zwischen Lehrperson und Adressat:innen ebenfalls ein Kennzeichen des Erklärens im Bildungskontext dar. Neben Erklärungen mit Kommunikationscharakter kommen in Lehr-Lernkontexten auch Erklärungen vor, die diesen Aspekt nicht beinhalten. Selbsterklärungen von Lernenden beruhen ebenso wenig auf Kommunikation wie schriftliche Erklärungen. Aus diesem Grund betrachtet Wörn (2014) Erklären viel mehr als eine Handlung und nicht als eine Form der Interaktion. Da der Prozess des eigenständigen Erklärens durch die Lernenden selbst Bestandteil der vorliegenden Untersuchung ist, erfolgt eine ausführlichere Thematisierung des Handlungsaspekts in Kapitel 2.2.3.

Kulgemeyer und Schecker (2009a) untersuchen u. a. die Relevanz des kommunikativen Aspekts im Erklärprozess. Sie entwickeln unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen erklärender Person und Adressat:innen ein Modell des naturwissenschaftlichen Erklärprozesses für den Physikunterricht, welches in Abbildung 2-3 dargestellt wird.

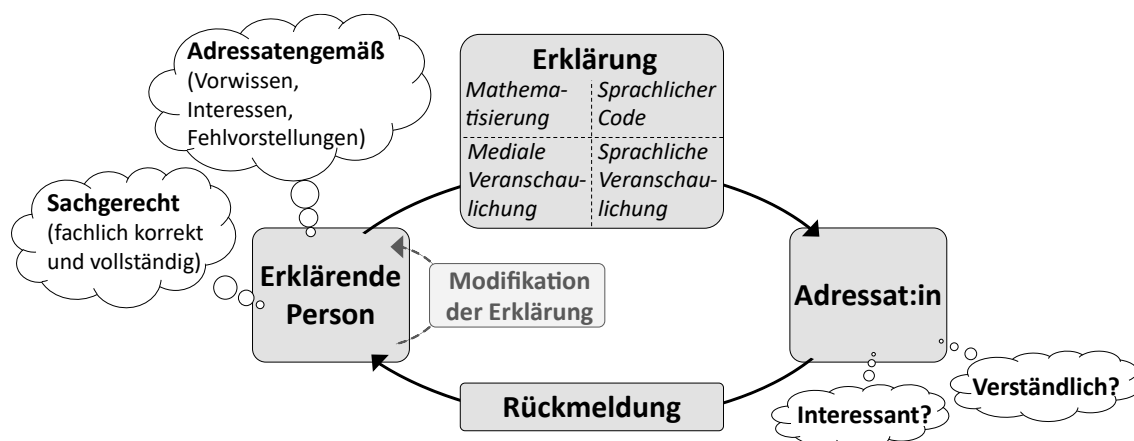


Abbildung 2-3: Darstellung des Erklärprozesses nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015). Eigene Darstellung in Anlehnung an Heinze (2022, S. 20)

Das Modell basiert dabei nicht auf einer unidirektionalen Übertragung von Informationen von einer erklärenden Person auf eine andere Person mit weniger Wissen. Vielmehr handelt es sich um eine bidirektionale Kommunikation im Rahmen eines Erklärprozesses (Kulgemeyer & Geelan, 2024).

Da sich eine instruktionale Erklärung im Unterricht stets an eine Zielperson oder -gruppe richtet, orientiert sich die Intention der Erklärung an dem Wissensstand der Lernenden. Instruktionale Erklärungen haben zum Ziel, Novizen in neue Konzepte einzuführen und hauptsächlich die Bildung von Wissen zu fördern (Leisen, 2007; Prediger & Erath, 2014; Wittwer & Renkl, 2008). Haben die Lernenden jedoch bereits Kenntnisse in einem Bereich, können instruktionale Erklärungen dazu beitragen, Fehlvorstellungen aufzuklären und das Wissen umzustrukturieren (Prediger & Erath, 2014; Wittwer & Renkl, 2008). Darüber hinaus können sie zur Verbesserung von Problemlösefähigkeiten beitragen (Wittwer & Renkl, 2008). Allerdings setzt die Erreichung beider Ziele voraus, dass die Erklärung mit dem Vorwissen der Lernenden verknüpft werden kann (Kiel, 1999). Dazu ist es notwendig, dass die erklärende Person Kenntnisse über das Vorwissen der Lernenden hat und diese beachtet. Des Weiteren sollten auch die Interessen und bestehende Fehlvorstellungen der Adressat:innen berücksichtigt und die Inhalte sachgerecht aufbereitet werden (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Mit Beachtung der bestehenden Bedingungen bietet die erklärende Person eine initiale Erklärung an. Dabei sind die im Modell dargestellten Variablen *Mathematisierung*, *sprachlicher Code* sowie *mediale* und *sprachliche Veranschaulichungen* in naturwissenschaftlichen Unterrichtserklärungen in Hinblick auf die Adaption

der Erklärung an die Lernenden von wesentlicher Bedeutung (Kulgemeyer, 2019b; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Mathematisierungen werden im Chemieunterricht als bedeutende Erklärungsebene chemischer Basiskonzepte angesehen (Schanze & Parchmann, 2013). Mathematische Modelle ermöglichen das Quantifizieren von Eigenschaften und Prozessen, welches eine Voraussetzung für tiefgreifendes Verständnis der Basiskonzepte darstellt (Schanze & Parchmann, 2013). Neben der Mathematisierung auf symbolisch-algebraischer Ebene kommen diese ebenfalls auf sprachlicher Ebene vor, beispielsweise durch Beschreibungen von „je-desto“-Zusammenhängen (Krey, 2012; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Der *sprachliche Code* der Erklärung bestimmt das angewendete Sprachniveau. Je nach Anforderungsniveau und Vorwissen bezogen auf die Zielgruppe unterscheidet sich das Maß der eingesetzten Fach- bzw. Alltagssprache (Kulgemeyer & Schecker, 2009a; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Ist der Wissenstand noch gering, ist es empfehlenswert, die Erklärung nah an einer der Lernenden bekannten Sprache zu orientieren. Der Einsatz an einem größeren Maß an Fachsprache sollte erst bei Lernenden eingesetzt werden, die bereits Kenntnisse in dem bestimmten Bereich haben.

Mediale Veranschaulichungen unterstützen das Verstehen abstrakter Erklärgegenstände, indem die Erzeugung mentaler Bilder erleichtert wird sowie komplexe Sachverhalte übersichtlich beschrieben werden (Kulgemeyer & Schecker, 2009b; Sevian & Gonsalves, 2008). Dies geht mit der Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (1997) konform. Die medialen Veranschaulichungen beruhen zum einen auf bildbasierten Darstellungen wie Realbildern oder grafischen Abbildungen in Form von Tabellen oder Diagrammen (Kulgemeyer & Schecker, 2009b). Zum anderen dienen Experimente oder Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht als gegenständliche Repräsentationsformen der Ergänzung mündlicher Erklärungen (Cabello Gonzales, 2013; Heinze, 2022; Kulgemeyer & Schecker, 2013).

Als weitere Variable einer Erklärung nennen Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) die *sprachliche Veranschaulichung* in Form von Beispielen oder Analogien zur Kontextualisierung der Erklärgegenstände (Wellenreuther, 2015). Dies erweist sich insbesondere bei der Vermittlung schwieriger oder abstrakter Konzepte als vorteilhaft, da sie das Verständnis der Lernenden fördert (Cabello Gonzales, 2013).

Der weitere Verlauf des Erklärprozesses entscheidet sich nach Evaluation der erklärenden Person in Bezug auf die Verständlichkeit der dargebotenen Erklärung.

Dies erfolgt durch aktives Fragen oder durch Aufgabenstellungen seitens der erklärenden Person oder durch Rückfragen und nonverbale Signale seitens der Adressat:innen (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Bei bestehenden Unklarheiten oder Missverständnissen muss die Erklärung modifiziert und erneut angeboten werden, sodass der Erklärprozess im Sinne eines Kreisprozesses verläuft (Heinze, 2022). Die Anpassung kann in einer Erklärung resultieren, welche besser auf die Bedürfnisse der Lernenden abgestimmt ist (Kulgemeyer, 2019b). Bei einer erneut angebotenen Erklärung sollte jedoch eine bloße Wiederholung der initialen Erklärung vermieden werden. Die Redundanz würde anstatt zur Vertiefung des Verständnisses zu einer kognitiven Überladung führen (Kulgemeyer, 2019b). Die Phase der Modifikation und des erneuten Anbietens der Erklärung kann je nach Bedarf wiederholt werden. Treagust und Harrison (1999) betonen, dass bei Erklärprozessen, die sich an mehrere Lernende richten, eine Vielzahl und eine Mischung an Erklärungen notwendig ist, um den individuellen Unterschieden gerecht zu werden. Erst wenn die beabsichtigten Inhalte auf Basis der Rückmeldungen ausreichend vermittelt wurden, ist der Erklärprozess beendet (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Instruktionale Erklärungen in Lehr-Lern-Kontexten sind jedoch oft negativ konnotiert, da die Lehrperson häufig die Rolle des Erklärenden einnimmt und den Adressat:innen eine passive Rolle zugeschrieben wird (Chi, 2001; Kulgemeyer, 2019b; Wittwer & Renkl, 2008). Dies hat den Nachteil, dass die vorgefertigten Informationen lediglich präsentiert und von den Lernenden nicht elaboriert werden (Wittwer & Renkl, 2008). Peer-to-Peer-Erklärungen und Selbsterklärungen, welche ebenfalls in Lehr-Lern-Kontexten zu finden sind, sind hiervon ausgeschlossen. Auf letzteres wird in Kapitel 2.2.3 genauer eingegangen. Erfolgt die Erklärung jedoch ausgehend von der Lehrperson, steht die passiv-rezeptive Betrachtungsweise im Konflikt mit Lernen im Sinne des Konstruktivismus (Kulgemeyer & Geelan, 2024; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Die konstruktivistische Lerntheorie beschreibt Lernen als einen Prozess, bei dem Lernende ihr Wissen aktiv und selbstgesteuert bilden (Wörn, 2014). Fasst man Lernen durch Erklären als passiv-rezeptiv auf, bei dem Wissen vom Lehrenden auf die Lernenden übertragen wird, widerspricht dies einer konstruktivistischen Perspektive (Kiel, 1999; Wörn, 2014). Kritikpunkt ist dabei der Mangel an Interaktion mit den Adressat:innen und die fehlende Einbeziehung dieser (Wörn, 2014). Lehrerzentrierte instruktionale Erklärungen können demnach lernwirksam sein und einen konstruktivistischen Prozess bewirken, wenn es sich nicht lediglich um eine Präsentation der wissenschaftlichen

Inhalte handelt (Kulgemeyer, 2019b; Kulgemeyer & Geelan, 2024; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015), sondern wenn sie die Adressat:innen in den Erklärprozess integrieren und ihnen „Gelegenheit zur Umstrukturierung von Wissen bieten“ (Wörn, 2014, S. 17). Dabei wird das neue Wissen der Lernenden in ihr bereits vorhandenes integriert (Wörn, 2014). Daneben bestehen weitere Kriterien zur Gestaltung lernwirksamer Erklärungen. Im folgenden Kapitel werden empirisch überprüfte Qualitätskriterien für effektive Erklärungen dargelegt, die einen Lernerfolg bewirken können.

2.2.2 Qualitätskriterien

Um sich mit der Frage zu befassen, was *gutes Erklären* ausmacht, bedarf es einer Auseinandersetzung mit Qualitätskriterien instruktionaler Erklärungen. Mehrere Studien haben diese bereits in Bezug auf den Unterrichtserfolg empirisch untersucht. Im Folgenden werden die Qualitätskriterien, insbesondere für den naturwissenschaftlichen Bereich, skizziert. Basierend auf der Arbeit von Kulgemeyer und Schecker (2013) sind dabei die Beiträge von Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) und Kulgemeyer (2019b) von besonderer Bedeutung. Kulgemeyer (2019b) segregierte in seinen Analysen empirischer Studien und Metaanalysen zu instruktionalen Erklärungen neun Qualitätsmerkmale bezüglich der Effektivität von Erklärungen. Diese basieren u. a. auf der Arbeit von Wittwer und Renkl (2008), welche ebenfalls Untersuchungen zu instruktionalen Erklärungen analysierten. Sie legten vier grundlegende Faktoren zur Erstellung von Erklärungen fest, die dem Lernprozess förderlich sind. Des Weiteren wurden die Kriterien für Erklärungen im naturwissenschaftlichen Unterricht nach Geelan (2012) berücksichtigt. Diese werden in der Arbeit nach Geelan (2013) speziell für den Physikunterricht unter Beachtung des Erfolges in Prüfungen ergänzt. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts FALKE (*Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Erklären*) wurden von Lindl et al. (2019) vier fachübergreifende und ein fachspezifisches Qualitätskriterium herausgearbeitet, die ebenfalls in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt wurden (Ehras; Frei, 2023).

Durch den Vergleich der Arbeiten konnten die genannten Qualitätskriterien in drei Oberkategorien zusammengefasst werden. Diese beziehen sich auf die inhaltliche

Gestaltung der instruktionalen Erklärungen: Adressatenorientierung¹ und Adaption, Strukturiertheit sowie inhaltliche Aspekte. Die Autoren berücksichtigen daneben weitere Elemente, die Einfluss auf die Effektivität der Erklärungen haben, die sich jedoch nicht direkt auf die Gestaltung einer Erklärung beziehen. Die analysierten Qualitätskriterien der Arbeiten, die dieser Arbeit zugrunde liegen, sind in Tabelle 2-1 in mögliche Oberkategorien eingeteilt. Diese werden nachfolgend ausführlicher beschrieben.

Tabelle 2-1: Zuordnung empirischer Qualitätskriterien in mögliche Oberkategorien

	Wittwer & Renkl, 2008	Kulgemeyer, 2019b	Lindl et al., 2019
<i>Adressatenorientierung und Adaption</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung an den Wissensstand der Lernenden 	<ul style="list-style-type: none"> • Adressatenorientierung und Werkzeuge zur Adaption • Berücksichtigung von Missverständnissen 	<ul style="list-style-type: none"> • Adressatenorientierung: Adaption an Charakteristika der Adressat:innen
<i>Strukturiertheit</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Induktive/ Deduktive Struktur • Minimalistisch • Hervorhebungen • Prompts 	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturiertheit: Aufbau und Gliederung des Erklärprozesses
<i>Inhaltliche Aspekte</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fokussierung auf Konzepte und Prinzipien 	<ul style="list-style-type: none"> • Fokussierung auf Konzepte 	
<i>Weitere Qualitätskriterien</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Integration in gegenwärtige kognitive Aktivitäten • Kein Ersatz der Aktivitäten zur Wissenskonstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschließende Lernaufgaben 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprech- und Körperausdruck • Sprachliche Verständlichkeit • Fachspezifische Qualitätskriterien

¹ Dieser Begriff wird in der vorliegenden Arbeit zur vereinfachten Darstellung verwendet. Es sind jedoch immer gleichermaßen Adressatinnen und Adressaten gemeint.

Adressatenorientierung und Adaption

Ein Qualitätskriterium zur Konstruktion effektiver Erklärungen ist die Anpassung an die Adressat:innen zur Steigerung ihres individuellen Lernpotentials. Diese Oberkategorie umfasst u. a. die Faktoren 2 und 9 aus den Analysen von Kulgemeyer (2019b). Faktor 2 bezieht sich auf die Adaption der Erklärung an die Adressat:innen, während Faktor 9 Werkzeuge zur Steigerung des Vorwissens enthält. Kulgemeyer (2019b) betrachtet zwar beide Aspekte differenziert, jedoch zählen sie beide zur Adressatenorientierung und werden aus diesem Grund unter der Oberkategorie *Adressatenorientierung und Adaption* zusammengefasst.

Die Adressatenorientierung bezieht sich dabei auf das Vorwissen, bestehende Fertigkeiten und kognitive Fähigkeiten der Lernenden (Wittwer & Renkl, 2008). Nach Chi et al. (1994) kann Wissen nicht direkt durch Instruktion erzeugt werden. Stattdessen erfordert die Wissenskonstruktion die Integration des neuen Wissens in bereits bestehendes Wissen. Forschungsarbeiten zeigen, dass eine vernachlässigte Anpassung an den Wissensstand für Lernende mit geringem Vorwissen aufgrund von Verständnisschwierigkeiten lernhinderlich sein kann (Helmke, 2014; Nückles et al., 2005; Wittwer et al., 2008). Eine Passung des neuen Lernstoffs an das Vorwissen erfolgt dabei durch Elementarisierung. Dabei werden neben der Stofffülle auch Komplexität und Abstraktheit der Inhalte reduziert (Frei, 2023; Lehner, 2020; Sterzing, 2022). Kulgemeyer (2019b) betont auch die Wichtigkeit einer Anpassung an Lernende mit hohem Wissenstand. Ein Phänomen, das in der Literatur als „*Expertise Reversal Effect*“ bezeichnet wird, beschreibt die lernhinderliche Wirkung möglichst leichter instruktionaler Erklärungen für Lernende mit hohem Vorwissen (Kalyuga et al., 2003). Informationen, die für Novizen zum Verständnis erforderlich sind, können gleichermaßen für Experten redundant sein. Nach der *Cognitive Load Theory* führt diese Redundanz zur kognitiven Überlastung der Experten, sodass die kognitiven Ressourcen nicht zur Bearbeitung komplexerer Informationen ausreichen (Chandler & Sweller, 1991; Kalyuga et al., 2003; Kulgemeyer, 2019b; Mayer & Moreno, 2003). Dies verhindert folglich eine bedeutungsvolle Auseinandersetzung mit der Erklärung und einen damit zusammenhängenden Lernzuwachs. Die Adressatenorientierung ist nach Kulgemeyer (2019b) unter Berücksichtigung der Variablen des Erklärprozesses (Abbildung 2-3) möglich. Wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben, setzen sich diese aus den Variablen Mathematisierung, sprachlicher Code sowie mediale und sprachliche Veranschaulichungen zusammen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die sprachliche Veranschaulichung durch den Einsatz von Beispielen und Analogien. Diese Variable ist entscheidend für die Verknüpfung des zu erklärenden Inhalts mit dem Vorwissen der

Lernenden (Kulgemeyer, 2019b). Des Weiteren tragen Analogien dazu bei, die Sprache für Lernende mit geringem Wissen verständlich zu gestalten (Treagust & Harrison, 1999). Der Einsatz von Analogien wird aus diesem Grund auch von Geelan (2012) als Qualitätskriterium bewertet. Eine alternative Möglichkeit Inhalte verständlicher zu vermitteln, besteht im Einsatz von anthropomorphen und teleologischen Formulierungen. Diese ermöglichen es, die Brücke zwischen dem Sprachgebrauch in der Wissenschaft und in Lehr-Lernumgebungen zu schlagen und die Fachsprache an die Adressat:innen anzupassen (Treagust & Harrison, 1999). Dennoch hebt Talanquer (2007) in Bezug auf teleologischen Aussagen hervor, dass diese Fehlvorstellungen und Verallgemeinerungen hervorrufen können. Um mögliche Fehlvorstellungen, die durch den Einsatz von anthropomorphen und teleologischen Formulierungen entstehen können zu vermeiden, bedarf es des Bewusstseins über diese und eines bedachten Einsatzes in Erklärungen (Geelan, 2012). Darüber hinaus kann der Einsatz verschiedener Arten der Repräsentation von Prozessen dazu beitragen, Fehlvorstellungen zu verhindern und gleichzeitig bedeutungsvolles Verständnis zu fördern (Talanquer, 2007). Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 ausgeführt, trägt neben der sprachlichen auch die mediale Veranschaulichung als Variable der Adaption zur Wissensvermittlung bei (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Repräsentationen in Form von Bildern, Experimenten oder Diagrammen erleichtern das Verständnis von Konzepten, indem mentale Modelle geschaffen werden (Heinze, 2022). Um jedoch zum Verständnis einer Erklärung beizutragen und kognitive Überlastung zu vermeiden, müssen die bildlichen und verbalen Informationen miteinander verknüpft werden (Heinze, 2022; Helmke, 2014).

Adressatenorientierung bedeutet nicht nur die Anpassung der Erklärung an das Vorwissen. Es ist ebenso relevant, vorhandene Missverständnisse der Lernenden in der Erklärung aufzugreifen und folglich auszubessern. Im Rahmen des Erklärprozesses nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) ist die Adaption der Erklärung an Missverständnisse nach Anbieten einer initialen Erklärung mit anschließender Evaluation des Verständnisses der Lernenden möglich. Dabei ist es jedoch von Bedeutung, die Relevanz der Erklärung aufzuzeigen, indem die Lernenden auf ihre Verständnislücken hingewiesen werden. Dies entscheidet, ob die Lernenden die Erklärung als hilfreich erachten und dieser folgen oder anderenfalls ignorieren (Acuña et al., 2011). Eine erneute Erklärung ohne Hervorhebung des Grundes würde als reine Wiederholung aufgefasst werden. Auch in diesem Fall würde die Redundanz der Erklärung nicht zu einer aktiven Auseinandersetzung mit den Informationen, sondern zu einer kognitiven Überlastung führen (Kulgemeyer,

2019b). Damit eine wiederholte Erklärung, die Missverständnisse auf Seiten der Lernenden aufgreift, zum Lernerfolg beiträgt, sollte diese folglich an die Bedürfnisse der Lernenden adaptiert sein und die Relevanz sollte deutlich gemacht werden (Roelle et al., 2014).

Strukturiertheit

Einen Einfluss auf die Effektivität von Erklärungen haben des Weiteren strukturelle Elemente. Nach Helmke (2014, S. 197) hat eine Strukturierung der vermittelten Inhalte zur Folge, „dass eine gut organisierte Wissensbasis entsteht“. Dabei tragen mehrere Aspekte zur Strukturiertheit einer Erklärung bei. Grundsätzlich können instruktionale Erklärungen im Bereich der Naturwissenschaften hinsichtlich ihrer Struktur auf zwei Arten unterschieden werden: Entweder startet die Erklärung mit einem Beispiel, aus welchem sich das dahinter liegende Prinzip ableiten lässt, oder es wird zu Beginn das bestehende Prinzip erklärt, welches anschließend mit Beispielen verdeutlicht wird. Die Erklärung folgt damit entweder dem *Beispiel-Regel-Prinzip* oder dem *Regel-Beispiel-Prinzip* (Kulgemeyer, 2019b). Das *Beispiel-Regel-Prinzip* entspricht demnach einer induktiven Vorgehensweise, während das *Regel-Beispiel-Prinzip* einer deduktiven entspricht. Die Struktur instruktionaler Erklärungen sollte abhängig des zu erreichenden Ziels aufgebaut werden. Orientiert an der dichotomen Kategorisierung von Wissen wird zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen unterschieden. Während deklaratives Wissen die Kenntnis über Fachbegriffe und Prinzipien beschreibt, umfasst prozedurales Wissen Kenntnisse zu Handlungen und Prozessen (vgl. hierzu bspw. Anderson, 1988; Baumert & Kunter, 2013; O. Tepner et al., 2012). Besteht das Ziel in der Vermittlung prozeduralen Wissens und damit in der Förderung von handlungsorientiertem Wissen ist die induktive Erklärungsweise wirksamer. Dahingegen ist die deduktive Vorgehensweise effektiver, wenn deklaratives Wissen gefördert werden soll (Kulgemeyer, 2019b; Seidel et al., 2013).

Neben dem differenzierten strukturellen Aufbau trägt auch das Verdeutlichen der Relevanz der Erklärung zur Strukturiertheit bei. Dies wird durch Aufzeigen der Zielvorstellungen realisiert (Heinze, 2022; Helmke, 2014; A. Wagner & Wörn, 2011). Das Hervorheben der Relevanz führt nicht nur in Bezug auf Missverständnisse, sondern in Bezug auf die gesamte Erklärung zu einem gesteigerten Lernzuwachs und stellt somit ein weiteres Qualitätskriterium dar. Der Begriff „*Responsive-Explaining*“ bezieht sich dabei auf Erklärungen, die den Lernenden ihre Notwendigkeit verdeutlichen (Kulgemeyer, 2019b). Darüber hinaus sollten in der Erklärung als weiteres Qualitätskriterium zentrale Konzepte hervorgehoben werden.

Um dies zu erreichen und gleichzeitig den Lernenden die Möglichkeit zu geben, sich mit diesen auseinanderzusetzen, können Prompts in Form von Fragen oder Hinweisen eingesetzt werden (Kulgemeyer, 2019b; Roelle et al., 2014).

Eine zusätzliche Methode zur Vermeidung von Redundanz und folglich der kognitiven Überlastung ist die Gestaltung minimalistischer Erklärungen (Kulgemeyer, 2019b). Die Erklärung enthält demnach ausschließlich relevante und präzise Informationen, was zu einem besseren Verständnis beiträgt. Weiteres Merkmal minimalistischer Erklärungen ist die kohärente Darstellung zum Aufbau mentaler Konstrukte, indem einzelne Elemente der Erklärung entlang eines roten Fadens miteinander verknüpft werden. Kulgemeyer (2019b) betont die Bedeutung von kausalen Konnektoren wie „weil“ oder „da“, um Kohärenz durch die Verbindung von *Explanans* und *Explanandum* herzustellen. Diese sind sowohl in schriftlichen als auch in mündlichen Erklärungen von Bedeutung (Kulgemeyer, 2019b; Wittwer & Ihme, 2014). Um den roten Faden in der Erklärung sicher zu stellen, „müssen vor allem die Zusammenhänge zwischen einzelnen Schritten deutlich gemacht und Gedankensprünge vermieden werden“ (Schopf & Zwischenbrugger, 2015, S. 18). Ein weiteres Kriterium der Strukturiertheit ist der schrittweise Aufbau einer Erklärung (Schopf & Zwischenbrugger, 2015). Zur Gewährleistung des inhaltlichen Zusammenhangs sollten die einzelnen Schritte sinnvoll aufeinander aufbauen (Helmke, 2014; Schopf & Zwischenbrugger, 2015).

Ferner bildet auch die Einbettung eines strukturgebenden Rückblicks ein Qualitätskriterium bezüglich der Strukturiertheit ab. Der Rückblick verweist auf bereits erklärte Aspekte und dient zur Verknüpfung einzelner Erklärabschnitte. Diese können während der Erklärung eingesetzt werden, wohingegen Zusammenfassungen besonders am Ende eines erklärten Sachverhalts förderlich sind (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Inhaltliche Aspekte

Grundlagen für erfolgreiche Erklärungen sind sowohl die fachliche Korrektheit als auch die Vollständigkeit der fachlichen Inhalte (Heinze, 2022; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Die Vollständigkeit ist dabei abhängig vom Grad der Elementarisierung, welcher an den Wissensstand der Adressat:innen zur Reduktion der Komplexität des Erklärgegenstands angepasst sein sollte (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015; Sterzing, 2022; Treagust & Harrison, 1999). Da ein hoher Grad an Elementarisierung meist auf Kosten der fachlichen Korrektheit geht, fordert Reinhold (2010) als Voraussetzung für eine fachlich angemessene Elementa-

risierung die Anschlussfähigkeit des Erklärgegenstands. Neben diesen beiden Aspekten ist auch die Art der Inhalte entscheidend für das Maß der Qualität. Wittwer und Renkl (2008) unterstreichen die Bedeutung von Konzepten und Prinzipien in instruktionalen Erklärungen und fassen diese ebenso wie Kulgemeyer (2019b) als Qualitätskriterium auf. Konzepte stellen eine Voraussetzung für ein tiefgreifendes Verständnis dar und sind darüber hinaus zum Lösen von Problemstellungen nötig (Wittwer & Renkl, 2008). Prinzipien, welche vor allem in mathematischen Bereichen zu finden sind, unterstützen die Anwendung prozeduraler Fähigkeiten (Renkl et al., 2007; Wittwer & Renkl, 2008). Folglich hilft das Verständnis von Konzepten und Prinzipien dem Aufbau von Wissen, das Lernende zum Lösen neuer und unbekannter Probleme anwenden können. Dadurch wird vorrangig der Erwerb tragenden Wissens verhindert (Wittwer & Renkl, 2008). Um jedoch ein korrektes Verständnis über chemische Konzepte zu vermitteln, bedarf es des Wechsels zwischen verschiedenen Darstellungsebenen. Die Besonderheit unterrichtlicher Erklärungen im Kontext der Chemie besteht in der Darstellung überwiegend kausaler Zusammenhänge zwischen Beobachtungen und Phänomenen auf makroskopischer Ebene in Verbindung mit den entsprechenden Prozessen und Eigenschaften auf mikroskopischer Ebene (Geelan, 2012). Darüber hinaus erfolgt die Repräsentation der Prozesse auf symbolischer Ebene durch den Einsatz von Diagrammen, Berechnungen oder Reaktionsgleichungen in Symbolsprache (Geelan, 2012). Das Anbieten effektiver Erklärungen setzt die Fähigkeit voraus, zwischen den Ebenen zu wechseln und diese miteinander zu verknüpfen (Sevian & Gonsalves, 2008). Diese Definition chemieunterrichtlicher Erklärungen stimmt mit der Theorie von Johnstone (2000) überein, welcher die Struktur der Chemie in die makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene unterteilt. Diese dreigliedrige Unterteilung hat eine wesentliche Bedeutung in der chemiedidaktischen Forschung erlangt. Die Forschung von Treagust et al. (2003) konnte ebenfalls zeigen, dass die Darbietung von Erklärungen im Chemieunterricht auf mehr als einer Ebene zu bedeutsamen Lernen führt.

Der korrekte Einsatz von Konzepten oder Prinzipien erfordert jedoch auch den Einsatz von Fachbegriffen, welche Bestandteil der Fachsprache sind. Der Erwerb von Fachsprache ist zum einen Voraussetzung für die naturwissenschaftliche Grundbildung (Rincke, 2010) und geht zum anderen mit dem Erwerb von Fachwissen einher (Heinze, 2022; Höttecke et al., 2017). Daher ist der Einsatz von Fachbegriffen ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskriterien in Bezug auf *inhaltliche Aspekte*. Die Wahl der Fachbegriffe ist jedoch abhängig vom Vorwissen der Lernenden und bestimmt gleichzeitig das Maß an verwendeter Fachsprache. Der

Aspekt der Elementarisierung zeigt ebenfalls, dass die Adressatenorientierung in Bezug auf inhaltliche Aspekte der Erklärung berücksichtigt werden muss. So hängt die fachliche Korrektheit mit der fachlichen Vollständigkeit zusammen, welche durch den Grad der Elementarisierung bestimmt wird. Dieser wiederum wird an das Vorwissen der Adressat:innen adaptiert. Neben der Kategorie *inhaltliche Aspekte* ist die Adressatenorientierung auch für die Kategorie *Strukturierung* von Bedeutung. Nach Helmke (2014) hilft die Strukturierung einer Erklärung, eine organisierte Wissensbasis aufzubauen. Um dies zu erreichen, müssen die Lernvoraussetzungen überprüft und die Erklärung an das Vorwissen angepasst werden. Adressatenorientierung bildet somit die Grundlage für die Gestaltung von lernwirksamen Erklärungen und muss in vielen Aspekten berücksichtigt werden. Die Adressatenorientierung wird von Frei (2023, S. 72) als „Leitgedanke guten Erklärens“ bezeichnet.

Anschließende Lernaufgaben

Wie zuvor erwähnt, besteht die Kritik an instruktionalen Erklärungen in der fehlenden kognitiven Aktivierung der Lernenden. Eine passive Aufnahme der Informationen ohne tatsächliche Verarbeitung führt in der Konsequenz zu der Ineffektivität einer Erklärung (Berthold & Renkl, 2010). Aus diesem Grund erachtet Kulgemeyer (2019b) Lernaufgaben, die sich an die Erklärung anschließen, als ein weiteres Qualitätskriterium. Diese beziehen sich zwar nicht auf die Gestaltung der Erklärung, dienen jedoch zur kognitiven Aktivierung und steigern somit die Effektivität der Erklärung, indem die erklärten Inhalte für problemlösende Aktivitäten angewendet werden. Die Wirksamkeit von Erklärungen hängt daher nicht nur von der Präsentation der Informationen durch die Lehrenden ab, sondern auch von der aktiven Verarbeitung durch die Lernenden, welche durch anschließende Lernaufgaben unterstützt werden kann (Berthold & Renkl, 2010; Kulgemeyer, 2019b). Die selbstgesteuerte Anwendung der präsentierten Informationen in problemlösenden Lernaktivitäten trägt zu ihrer Integration in bereits vorhandenes Wissen bei und führt infolgedessen zu höheren Lernerfolgen im Vergleich zu Erklärungen ohne nachfolgende Lernaufgaben (Kulgemeyer, 2019b; Webb & Farivar, 1999; Webb et al., 1995). Entscheidend ist dabei, dass die Lernaufgaben zu einer aktiven Auseinandersetzung anregen (Berthold & Renkl, 2010; Kulgemeyer, 2019b). Dies entspricht auch dem Kriterium nach Wittwer und Renkl (2008), wonach instruktionale Erklärungen in kognitive Aktivitäten integriert werden sollen. Durch die aktive Auseinandersetzung mit den Informationen der Erklärung durch Anwendung in Aufgaben wird tiefgründiges Verständnis erzielt, indem Lernenden ermöglicht

wird, selbstständig Verbindungen zu ihrem Vorwissen aufzubauen. Dies verhindert somit das Erreichen einer Verstehensillusion (Wittwer & Renkl, 2008). Eine Verstehensillusion tritt dann auf, wenn Lernende glauben, einen Erklärgegenstand verstanden zu haben, obwohl dies nicht zutrifft (Chi et al., 1994; Kulgemeyer & Wittwer, 2023). Wittwer und Renkl (2008) zufolge kann bedeutungsvolles Lernen nur ermöglicht werden, sofern die Informationen aus den Erklärungen, die in den Lernaufgaben zur kognitiven Aktivierung angewendet werden, an die Adressat:innen angepasst sind. Wittwer und Renkl (2008) heben die Bedeutung der kognitiven Aktivierung für Lernprozesse hervor, indem sie als weiteres Qualitätskriterium den Verzicht instruktonaler Erklärungen vorsehen, falls diese die Konstruktion von Wissen behindern. Da instruktonale Erklärungen jedoch besonders Novizen in der Konstruktion neuen Wissens unterstützen, bezieht sich dieses Kriterium auf fortgeschrittene Lernende (P. A. Kirschner et al., 2006; Wittwer & Renkl, 2008). Für diese stellt sich die Frage, inwieweit instruktonale Erklärungen von Vorteil sind. Instruktonale Erklärungen können den Lernzuwachs mindern, wenn die Lernenden diese nur passiv aufnehmen und sie nicht aktiv in den Lernprozess integrieren. Um dies zu vermeiden, sollten Erklärungen bei Lernenden mit einem vorhandenem Grundverständnis als Unterstützung im Lernprozess angesehen werden, um beispielsweise sicherzustellen, dass sie korrektes Wissen besitzen oder um Fehlvorstellungen zu verhindern (Wittwer & Renkl, 2008).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zur Gewährleistung der Effektivität instruktonaler Erklärungen sowohl bei Lernenden mit geringem als auch hohem Grundverständnis, Qualitätskriterien bezüglich der Gestaltung berücksichtigt werden sollten (Tabelle 2-2).

Auch weitere Kriterien, die sich nicht auf die Gestaltung beziehen, können die Lernwirksamkeit von Erklärungen erhöhen. So legen Lindl et al. (2019) als weitere fachübergreifende Qualitätskriterien den Sprech- und Körperausdruck sowie die sprachliche Verständlichkeit² fest. Kulgemeyer (2019b) sowie Wittwer und Renkl (2008) sehen große Relevanz in Aktivitäten zur kognitiven Aktivierung, wie anschließende Lernaufgaben. Da die kognitive Aktivierung von besonderer Bedeutung im Lernprozess ist, betonen Wittwer und Renkl (2008), dass instruktonale Erklärungen diese nicht ersetzen, sondern unterstützen sollten. Dies verdeutlichen

² Da diese Kriterien im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurden, wird auf weiterführende Literatur verwiesen, z.B. Ehras (2023), Frei (2023) oder Lindl et al. (2019).

sie am Beispiel der Selbsterklärungen. Welchen Einfluss das eigenständige Generieren von Erklärungen auf den Lernerfolg haben kann und wie es mit instruktionalen Erklärungen verknüpft werden kann, wird im folgenden Kapitel erläutert.

Tabelle 2-2: Qualitätskriterien zur Gestaltung lernwirksamer instruktionaler Erklärungen

Oberkategorie	Beschreibung	Unterkategorien
<i>Adressatenorientierung und Adaption</i>	Berücksichtigung der Voraussetzungen der Adressat:innen auf inhaltlicher und sprachlicher Ebene. Einsatz von Werkzeugen zur Adaption der Erklärung.	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung an Vorwissen • Berücksichtigung und Verdeutlichung von Missverständnissen • Einsatz von Analogien • Anthropomorphismus und Teleologie • Darstellungsformen
<i>Strukturiertheit</i>	Aufbau einer strukturierten Wissensbasis durch inhaltliche Strukturierung der Erklärung. Aspekte zum Aufbau sowie zur Zielklarheit und Vernetzung.	<ul style="list-style-type: none"> • Verdeutlichung der Relevanz (Zielklarheit) • Regel-Beispiel/Beispiel-Regel-Prinzip • Minimalistische Erklärungen • Kohärenz • Schrittweiser Aufbau • Roter Faden • Prompts • Zusammenfassungen
<i>Inhaltliche Aspekte</i>	Kriterien in Bezug auf inhaltliche und fachliche Gestaltung der Erklärung.	<ul style="list-style-type: none"> • Fokussierung auf Konzepte und Prinzipien • Verwendung passender Fachbegriffe • Fachliche Korrektheit • Fachliche Vollständigkeit • Stoff-Teilchen-Ebene

2.2.3 Lernen durch Erklären

Der vorangegangene Abschnitt zeigt, wie Erklärungen unter Beachtung von Qualitätskriterien lernwirksam gestaltet werden können. Dabei steht die Berücksichtigung der Adressat:innen im Vordergrund, um ein passiv-rezeptives Lernen zu vermeiden. Neben der Integration von Adressat:innen in den Erklärprozess bietet das eigenständige Generieren von Erklärungen die Möglichkeit, aktives und selbstgesteuertes Lernen anzuregen. Besonders vor dem Hintergrund des Konstruktivismus ist das Erstellen von Erklärungen von großer Bedeutung (Wörn, 2014). Lernen durch das Generieren von Erklärungen für andere oder auch sich selbst stellt eine effektive Art des Lernens dar (Chi et al., 1989; Chi et al., 1994; Fiorella & Mayer, 2014; Lachner et al., 2021; Lachner et al., 2018). Im naturwissenschaftlichen Bereich kann inhaltliches Verständnis gefördert werden, wenn die Lernenden zum Erklären aufgefordert werden (McNeill & Krajcik, 2008; Rivard & Straw, 2000). Durch das Formulieren einer Erklärung sind sie nach Brown und Campione (1990) dazu veranlasst, ihr Wissen zu bewerten, zu integrieren und zu elaborieren. Dies kann sich positiv auf den Lernprozess auswirken (Ruiz-Primo et al., 2010). Erklärungen von Lernenden reflektieren dabei ihr Verständnis über den Lerngegenstand (Ruiz-Primo et al., 2010). Ferner spiegeln die Erklärungen wider, welche Informationen die Lernenden für relevant erachten, um den Lerngegenstand zu verstehen, sowie das, was sie selbst verstanden haben (Sandoval, 2001). Die Konstruktion einer Erklärung kann darüber hinaus dabei helfen, die eigene Aufmerksamkeit auf relevante Aspekte zu lenken (Hausmann & VanLehn, 2007).

Die Wirksamkeit im Generieren von Erklärungen konnte bereits durch frühere empirische Forschungsarbeiten belegt werden. Beispielsweise führten Chi et al. (1989) eine Interventionsstudie unter Zuhilfenahme ausgearbeiteter Lösungsbeispiele und Problemstellungen im Fachbereich der Physik durch. Der Studie liegt die Annahme zugrunde, dass Unterschiede in der Problemlösefähigkeit auf Unterschieden im Verständnis und Lernen beruhen. Aus diesem Grund wird in der Studie die Art des Lernens in Bezug auf spontanes Generieren von Erklärungen untersucht. Die Studie zeigt, dass Lernende, die im Post-Test ein größeres Maß an Problemlösefähigkeiten aufweisen, häufiger spontan selbst erklären. Dadurch erlangen sie im Vergleich zu den Lernenden, die kaum Selbsterklärungen einsetzen, mehr prozedurales Wissen. Chi et al. (1994) untersuchten inwieweit das Verständnis durch die Initiierung von Selbsterklärungen gesteigert werden kann. Die Studie bestätigt, dass Schüler:innen, die eine größere Anzahl an Selbsterklärungen for-

mulieren, einen höheren Lernzuwachs zwischen Prä- und Post-Test aufweisen. Zudem ermöglicht häufigeres Selbsterklären das Beantworten komplexer Fragen und den Aufbau mentaler Modelle, da ein tieferes Verständnis der Lernmaterialien erreicht wird. Das Initiieren von Erklärungen kann demnach dazu beitragen, das Verständnis zu steigern (Ploetzner et al., 1999; Ryoo & Linn, 2014). In ihrer Studie konnten Chi et al. (1989) zudem nachweisen, dass die Konstruktion von Erklärungen neben einem gesteigerten Lernzuwachs auch die Überwachung des eigenen Lernprozesses fördert.

Die Frage, ob die Selbsteinschätzung bezüglich des Verständnisses durch die Konstruktion einer Erklärung gefördert wird oder ob allein die Erwartung, erklären zu müssen, bereits ausreicht, untersuchte Fukaya (2013) im Rahmen einer Interventionsstudie. Zur Messung der Selbsteinschätzung wurden die Verständnisbewertungen der Teilnehmenden mit ihrer tatsächlichen Testleistung verglichen. Es zeigt sich, dass die Selbsteinschätzung der Teilnehmenden, die eine Erklärung erstellten, positiver ausfällt als bei jenen ohne Erklärungsaktivität. Dies ist auf den kognitiven Vorgang während der Konstruktion einer Erklärung zurückzuführen, bei dem die eigene Erklärung bezüglich ihrer Kohärenz oder Richtigkeit evaluiert wird (Fukaya, 2013). Dabei wird das eigene Verständnis reflektiert und mögliche Verständnislücken werden erkannt. Dies führt zu einer genaueren Einschätzung des eigenen Verständnisses (Fukaya, 2013). Die Studie konnte jedoch bestehende Ergebnisse, die zeigen, dass das Erstellen von Erklärungen das Verständnis positiv beeinflussen, nicht replizieren. Fiorella und Mayer (2013) untersuchten, ob Lernen durch Erklären³ einen größeren Effekt auf das Verständnis hat als Lernen mit der Erwartung zu erklären. Zum Vergleich der Ergebnisse wurde eine Kontrollgruppe ohne Erklärungserwartung herangezogen. In der Untersuchung, bei welchem der Nachtest unmittelbar nach dem Lernen oder Erklären stattfand, schnitt die Kontrollgruppe signifikant schlechter ab im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen. Eine zusätzliche Untersuchung zeigte, dass das Lernen durch Erklären sowohl beim Lernen mit als auch ohne Erklärungserwartung einen größeren Effekt auf das Verständnis hat (Fiorella & Mayer, 2013). Die Ergebnisse konnten in der Studie nach Hoogerheide et al. (2014b) bestätigt werden. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass das Lernen durch Erklären den langfristigen Wissenserwerb signifikant stärker beeinflusst als in der Kontrollgruppe (Hoogerheide et al., 2014b). Die

³ In der dargestellten Studie nach Fiorella und Mayer (2013) wird der Begriff „unterrichten“ anstelle von „erklären“ verwendet. Da das Unterrichten jedoch daraus bestand, eine videografierte instruktionale Erklärung zu erstellen, kann der Begriff „erklären“ synonym zu „unterrichten“ verwendet werden.

Ergebnisse deuten darauf hin, dass der generative Charakter des Lernens durch Erklären hilft, dauerhaftes Verständnis aufzubauen. Die Untersuchungen von Hausmann und VanLehn (2007) konnten ebenfalls erkennen lassen, dass das Erstellen von Erklärungen sowohl kurzfristig als auch langfristig einen positiven Lernerfolg erzielt. Fiorella und Mayer (2013) argumentieren, dass das Generieren einer Erklärung zu einer tiefen kognitiven Verarbeitung führt. Durch den sogenannten Generierungseffekt werden selbstgenerierte Informationen besser behalten als Fremderklärungen (Renkl, 2001; Wörn, 2014). Grundlage für diese Begründung ist die Cognitive Theory of Multimedia Learning von Mayer (2009). Wie in Abschnitt 2.1.2 beschrieben besitzen Lernende eine begrenzte Verarbeitungskapazität. Während des Lernens durch Erklären werden nach der initialen Informationsverarbeitung verbleibende Kapazitäten zur Organisation und Integration im Sinne eines tieferen Verarbeitens investiert (Fiorella & Mayer, 2013, 2014). Durch die generative Verarbeitung wird eine kohärente Repräsentation des Lerngegenstandes konstruiert, indem während der Konstruktion der Erklärung Verknüpfungen innerhalb des Lerngegenstands und zum Vorwissen hergestellt werden (Chi, 2000; Chi et al., 1994; Fiorella & Mayer, 2014; Ploetzner et al., 1999). Nach Chi et al. (1994) ist die Effektivität des Lernens durch Erklären unter anderem auf die Förderung der Integration des neuen Wissens in bereits bestehendes Wissen zurückzuführen. Fiorella und Mayer (2014) führen jedoch an, dass ein nachhaltiges Verständnis lediglich durch die Konstruktion qualitativer Erklärungen möglich ist, die wiederum auf tiefgreifende Verarbeitungsprozesse basieren. Die Formulierung von Erklärungen niederer Qualität erweisen sich dahingegen nicht als lernförderlich (Chi et al., 1989; Renkl, 1997; Ryoo & Linn, 2014). Damit sich das Erstellen einer Erklärung positiv auf den Lernerfolg auswirken kann, ist es von Bedeutung, das eigene Verständnis reflektieren zu können (Fiorella & Mayer, 2014). Dabei ist zudem der Zeitpunkt des Erklärens entscheidend für die Effektivität der Methode. Lachner et al. (2020) stellen fest, dass der größte Lernerfolg eintritt, wenn Lernen durch Erklären während der Lernphasen und nicht zum Ende einer Lernphase eingesetzt wird. Begründet wird dies durch die Aktivierung metakognitiver Prozesse während des Erklärens, wie das Überwachen des Lernfortschrittes. Dies unterstützt das Lernen in den weiteren Lernphasen (Börger, 2022).

Das Verfassen von schriftlichen Erklärungen im Bereich der Naturwissenschaften kann dabei unterstützen, Lernende zum Reflektieren über ihren eigenen Lernvorgang anzuregen und sie im Aufbau neuen Wissens zu unterstützen, indem Inhalte kohärent und strukturiert verknüpft werden (Halliday & Martin, 1993; Rivard &

Straw, 2000; Ruiz-Primo et al., 2010; Schumacher & Nash, 1991; Tishman & Perkins, 1997).

Schumacher und Nash (1991) überprüften Studien, die den Zusammenhang zwischen schriftlichen Erklärungen und einem Wissenszuwachs bekräftigten. Dabei schlussfolgern die Autoren, dass nicht das Schreiben selbst, sondern die daraus resultierende Neustrukturierung des Wissens zum Lernzuwachs führt. Das Schreiben ist demnach bedeutsam für die Organisation und Konsolidierung des Wissens (Rivard & Straw, 2000). Deklaratives oder prozedurales Wissen wird im Prozess des Erklärens dadurch aufgebaut, dass Wissensschlüsse oder Regeln beim Problemlösen konstruiert werden (Chi et al., 1994). Tishman und Perkins (1997) heben zudem die Bedeutung der Reflexion im Rahmen der Erstellung schriftlicher Erklärungen im Vergleich zu mündlichen Erklärungen hervor. Während mündliche Erklärungen divergent sind und weniger Anstrengung seitens der Lernenden erfordern, sind schriftliche Erklärungen eher konvergent und erfordern zudem höhere kognitive Anforderungen (Rivard & Straw, 2000; Ruiz-Primo et al., 2010). Die interdisziplinäre Bedeutung von Schreiben als Lernwerkzeug wurde von Boscolo und Mason (2001) in ihrer Forschungsarbeit untersucht. Sie analysierten den Zusammenhang im Schreiben als Mittel zum Lernen im Fach Geschichte und in anderen Fächern wie den Naturwissenschaften. Die Ergebnisse zeigen, dass Schüler:innen, die in Geschichte das Schreiben als Lernwerkzeug nutzen, dies auch in den Naturwissenschaften tun und ein tieferes konzeptuelles Verständnis aufweisen. Zudem konnten Boscolo und Mason (2001) in ihrer Studie zeigen, dass Schreiben einen bedeutenden Einfluss auf das Reflektieren hat, indem es das Bewusstsein für das Gelernte und für die Erklärung fördert. Um den Zusammenhang zwischen der Qualität schriftlicher Erklärungen von Schüler:innen und ihrem Leistungsniveau zu erfassen, führten Ruiz-Primo et al. (2010) eine empirische Studie im Bereich des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch. Sie analysierten dabei die Mitschriften in den Unterrichtsheften, welche sowohl die Denk- und Lernprozesse der Schüler:innen widerspiegelten als auch die unterrichtlichen Aktivitäten (Ruiz-Primo & Li, 2004; Ruiz-Primo et al., 2010). Die Analyse der Qualität bezog sich in Anlehnung an Toulmin (1958) auf die drei Komponenten: Behauptung, Beweise zur Unterstützung der Behauptung sowie Argumentation zur Rechtfertigung des Zusammenhangs zwischen Behauptung und Beweisen. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Konstruktion qualitativ hochwertiger Erklärungen zu besseren Leistungen führen kann. Das Verfassen von Erklärungen kann folglich einen Einfluss auf das Lernen haben (Ruiz-Primo et al., 2010). Wie bei mündlichen

Erklärungen ist auch bei schriftlichen Erklärungen das Maß der Qualität entscheidend für den Lernerfolg. Erstellen die Lernenden fehlerhafte Erklärungen, manifestieren sich Wissenslücken oder falsche Vorstellungen über den Lerngegenstand (Berthold & Renkl, 2009; Chi et al., 1989; Ryoo & Linn, 2014). Chi (2000) erkennt fehlerhafte Erklärungen gleichzeitig als Chance, im Zuge eines kognitiven Konflikts durch weiteres Generieren von Erklärungen diesen zu lösen. Diese Möglichkeit begrenzen Berthold und Renkl (2009) jedoch nur auf Fälle, in welchen instruktionale Unterstützung oder Rückmeldung angeboten wird.

Die Problematik im Erstellen fehlerhafter Erklärungen zeigt teilweise die Einschränkungen im Lernen durch das Generieren von Erklärungen. Neben dem Erstellen inkorrekt ausarbeiteten, stoßen Lernende beim Versuch zu erklären oft auf Verständnisschwierigkeiten, die sie selbstständig nicht lösen können (Renkl, 2001). Um Verständnisschwierigkeiten und fehlerhaften Erklärungen entgegen zu wirken und gleichzeitig qualitätsvolle Erklärungen sicherzustellen, schlagen Berthold und Renkl (2009) vor, Lernende mit instruktionalen Hilfestellungen zu unterstützen. Als ein weiteres Problem des Erstellens von Erklärungen sieht Renkl (2001) die Verstehensillusion⁴ an. Diese verhindert bei Lernschwächeren das Bestreben nach tieferem Verständnis, obwohl dieses notwendig wäre. Auch in Bezug auf die empirisch erhobenen Ergebnisse der Lernwirksamkeit konstruierter Erklärungen besteht Kritik. Matthews und Rittle-Johnson (2009) argumentieren in diesem Zusammenhang, dass der wesentliche Grund für die gesteigerte Lernwirksamkeit darauf zurückzuführen ist, dass das Generieren einer Erklärung die Zeit der kognitiven Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erhöht. Sie begründen dies mit der fehlenden Kontrolle des Time on Tasks in bestehenden Studien, welches ein ausschlaggebendes Kriterium für Aussagen bezüglich der Lernwirksamkeit darstellt (Matthews & Rittle-Johnson, 2009). Allerdings trifft dies nicht auf alle Studien zu. In der Studie von Ryoo und Linn (2014) konnte trotz Kontrolle der aktiven Lernzeit in den Untersuchungsgruppen ein größerer Lernerfolg durch das Erstellen von Erklärungen im Vergleich zum Lesen von Erklärungen festgestellt werden.

Mehrere Studien konnten die Lernwirksamkeit des Generierens von Erklärungen belegen. Die kognitive Herausforderung dieser Tätigkeit spiegelt sich in den Schwierigkeiten wider, mit welchen die Lernenden konfrontiert werden können.

⁴ Der von Renkl (2001) verwendete Begriff „Verständnisillusion“ ist synonym zum Begriff „Verstehensillusion“ (z.B. nach Kulgemeyer (2022); Kulgemeyer et al. (2023b); Renkl (2001)) zu verstehen.

Diese Schwierigkeiten können sich sowohl negativ auf die Qualität als auch auf die Nachhaltigkeit der Erklärungen auswirken (Roy & Chi, 2005). Aus diesem Grund empfehlen Roy und Chi (2005) Lernende im Erklären zu schulen oder das Erklären in multimediale Lernumgebungen einzubetten. Multimediale Umgebungen bieten aufgrund des Informationsreichtums Gelegenheiten zum Erklären, indem die dargestellten Informationen untereinander oder mit dem Vorwissen verknüpft werden. Beispielsweise haben Ryoo und Linn (2014) gezeigt, dass das Erstellen von Erklärungen in einer Lernumgebung unterstützt mit dynamischen Visualisierungen lernwirksamer ist als das Lesen von Erklärungen. Alevin und Koedinger (2002) nutzten eine computergestützte Lernumgebung, um die Lernwirksamkeit des Erklärens zu überprüfen. Die Lernenden, die dabei zum Erklären aufgefordert wurden, zeigen ein besseres Verständnis als die Lernenden, die die Lernumgebung ohne die Aufforderung zum Erklären nutzten. Zudem sind sie besser in der Lage, ihr Wissen auf neue Kontexte zu übertragen. Ryoo und Linn (2014) postulieren, dass das Generieren von Erklärungen in multimedialen Lernumgebungen dazu beitragen kann, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Darstellungen besser zu erfassen. Berthold und Renkl (2009) bestätigen die Vermutung von Roy und Chi (2005), wonach das Generieren von Erklärungen die Integration von Repräsentationen aus multimedialen Lernumgebungen fördert. Daraus folgern sie, dass dies das konzeptuelle Verständnis fördern kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich das selbstständige Generieren von Erklärungen positiv auf den Lernzuwachs auswirken kann. Dies trifft sowohl auf mündliche als auch schriftliche Erklärungen zu. Multimediale Lernumgebungen bieten schließlich eine Chance, kognitive Schwierigkeiten im Lernen durch Erklären zu minimieren, um eine gesteigerte Lernwirksamkeit zu erzielen. Erklärvideos sind ein mögliches Medium und können dazu dienen, das Generieren von Erklärungen zu begleiten. Im Folgenden wird erörtert, inwiefern Erklärvideos einen Beitrag zur Lernwirksamkeit leisten können.

2.3 Erklärvideos

Die Rezeption von Videos stellt für Jugendliche zunehmend einen bedeutsamen Bestandteil ihres Alltags dar. Aus diesem Grund ist es naheliegend anzunehmen, dass die Nutzung durch Jugendlichen auch in Lernprozessen stark angestiegen ist. Dies konnte auch die repräsentative Umfrage des Rates für Kulturelle Bildung (2019) bestätigen. Nahezu die Hälfte aller Befragten schätzte den Einsatz von YouTube-Videos für Bildungszwecke als wichtig ein. Dies bezog sich auf Wiederholung sowie Vertiefung von Inhalten, auf die Bearbeitung von Hausaufgaben und auf die Vorbereitung für Klausuren. Der Rat für kulturelle Bildung (2019) empfiehlt aus diesem Grund die Entwicklung eigener Videoformate und ihren Einsatz in Lernprozesse.

Doch was rechtfertigt den bewussten Einsatz von Erklärvideos in Lernprozessen? Aus kognitionspsychologischer Perspektive lässt sich argumentieren, dass eine lernwirksame Auseinandersetzung mit Informationen durch die Aktivierung mehrerer Kanäle (visuell und auditiv) erfolgt (Mayer, 2009; Paivio, 1986). Daneben bieten Erklärvideos eine Chance in der Förderung des Verständnisses durch die Visualisierung von Lerngegenständen. In Erklärvideos sind Darstellungen von dynamischen Prozessen möglich, welche in den Naturwissenschaften oftmals auf der Teilchenebene stattfinden. Diese Ebene lässt sich lediglich durch Visualisierungen für die Lernenden veranschaulichen. Die Einbindung von dynamischen Vorgängen in den Videos führt zudem dazu, dass die Aufmerksamkeit der Adressat:innen gelenkt wird (Bersch et al., 2020). Die Einbettung von Erklärvideos in Unterrichtsformate wie *Flipped Classroom*, bei dem die Wissensvermittlung durch instruktionale Erklärvideos in einem selbstständigen Lernprozess außerhalb der Präsenzveranstaltung erfolgt, stellt eine Möglichkeit dar, Erklärvideos einzusetzen (Bishop & Verleger, 2013). Erklärvideos können jedoch auch als integraler Bestandteil des Lernprozesses zur Unterstützung des Lernens dienen. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn die Intention die Vermittlung deklarativen Wissens in Form von fachlichen Konzepten ist (Kulgemeyer et al., 2023a).

Welche Einsatzmöglichkeiten sich für Erklärvideos im Lernprozess anbieten, wird im Folgenden vorgestellt. Zuvor widmet sich das nächste Kapitel der Begriffsbestimmung des Mediums Erklärvideo sowie einer beschreibenden Einteilung dieser. Anschließend werden die Kriterien hinsichtlich lernförderlicher Erklärvideos diskutiert bevor abschließend erörtert wird, inwieweit Erklärvideos zum Lernerfolg beitragen können.

2.3.1 Begriffsbestimmung

Zur eindeutigen Differenzierung verschiedener Videoformate, die dem Zweck des Lehrens und der Wissensvermittlung dienen, ist es erforderlich, diese zunächst per Definition voneinander abzugrenzen⁵.

Erklärvideos werden nach Wolf (2015b, S. 123) als „eigenproduzierte Filme, in denen erläutert wird, wie man etwas macht oder wie etwas funktioniert bzw. in denen abstrakte Konzepte erklärt werden“ definiert. Ziel von Erklärvideos ist dabei die Vermittlung von deklarativem Wissen, indem Konzepte und Theorien erklärt werden (Kulgemeyer et al., 2023a). Eine Subkategorie der Erklärvideos bilden nach Wolf (2015b) sogenannte *Video-Tutorials*. In diesem Videoformat werden Handlungen für die Zuschauenden zum Zwecke des Nachahmens demonstriert. Hierbei ist das Ziel, Handlungswissen zu vermitteln (Kulgemeyer et al., 2023a). Im Gegensatz zu rein selbstdarstellerischen Formaten wie *Performanzvideos*, die keine didaktischen Elemente einbeziehen, zeichnen sich Video-Tutorials sowie Erklärvideos durch einen hohen Grad der Didaktisierung aus (Wolf, 2015a, 2015b). Performanzvideos zählen folglich nicht zu den Erklärvideos. *Videoblogs* lassen sich als eine Zwischenkategorie der Erklärvideos und Performanzvideos definieren (Sterzing, 2022). In eigenproduzierten Videos präsentiert eine Person persönliche Aspekte, wobei diese mit erklärenden oder darstellenden Elementen verknüpft werden können (Wolf, 2015b). Ziel von Videoblogs liegt allerdings nicht immer in der Wissensvermittlung (Findeisen et al., 2019). Von Erklärvideos sind weiterhin *Dokumentarfilme* abzugrenzen. Diese weisen je nach Intention einen unterschiedlichen Grad der Didaktisierung auf und vermitteln wahre oder erfundene Begebenheiten. Das Maß an enthaltenen Erklärungen variiert dabei ebenfalls, sodass häufig lediglich die Informationsvermittlung ohne erklärende Absicht enthalten ist (Wolf, 2015b). Eine weitere große Kategorie bilden die *Lehrfilme*. Sie weisen den höchsten Grad der Didaktisierung sowie Professionalisierung auf (Wolf, 2015a, 2015b). Dazu zählen u. a. Aufzeichnungen didaktisch aufbereiteter Lehrveranstaltungen (Wolf, 2015b). Lehrfilme decken Themenbereiche fehlerfrei und vollständig ab, während sich Erklärvideos meist auf Ausschnitte eines Themenbereiches beziehen (Findeisen et al., 2019). Da als lernförderliche Länge eines Er-

⁵ In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Lernvideo“ als übergeordnete Kategorie für Videoformate verwendet, die der Wissensvermittlung dienen. Dies erfolgt in Abgrenzung zum Begriff „Erklärvideo“, der in der einschlägigen Literatur synonym verwendet wird (vgl. Frei et al. (2020); Kulgemeyer (2018); Sterzing (2022)).

klärvideos eine Länge von fünf bis maximal zehn Minuten empfohlen wird, erweist sich eine thematische Fokussierung als unerlässlich (Guo et al., 2014; Kulgemeyer, 2018; Sterzing, 2022).

Wolf (2015a) kennzeichnet Erklärvideos anhand von vier Merkmalen:

Die ausgewählten Schwerpunkte in Lehrfilmen beziehen sich meist auf zentrale Themenbereiche mit hoher gesellschaftlicher Relevanz. Erklärvideos hingegen sind durch eine hohe *thematische Vielfalt* gekennzeichnet, wobei einzelne Themen zudem in vertiefender Weise behandelt werden können.

Die *gestalterische Vielfalt* von Erklärvideos ist maßgeblich durch das unterschiedliche Maß an Professionalität bei der Videoproduktion bedingt. Dabei reicht das Spektrum von Amateuren bis hin zu Experten. Die Professionalität kann sich dabei auf die didaktischen oder mediengestalterischen Aspekte des Videos beziehen.

Oftmals zeichnen sich Erklärvideos zudem durch einen *informellen Kommunikationsstil* aus. Dabei werden die Lernenden geduzt und die Erklärungen erfolgen auf humorvolle Art und Weise. Dies erzeugt eine positive und fehlertolerante Lernatmosphäre, in der der Lernfortschritt als Ergebnis kontinuierlicher Übung und Nachdenkens betrachtet wird.

Wie zuvor beschrieben zeigt sich in Bezug auf Erklärvideos eine hohe *Diversität in der Autorenschaft*. So können Videos zu einer Thematik von Amateuren bis hin zu Experten gestaltet werden. Dadurch können sich die einzelnen Videos in Hinblick auf ihre Gestaltung stark voneinander unterscheiden.

2.3.2 Qualitätskriterien

Das primäre Ziel von Erklärvideos⁶ besteht, wie zuvor erläutert, in der Darstellung von Konzepten zur Vermittlung von deklarativem Wissen bzw. Faktenwissen. Die Lernenden sind nach Betrachtung des Videos lediglich in der Lage, die thematisierten Fakten und die dabei erläuterten Beispiele wiederzugeben (Kulgemeyer et al., 2023a). Konzeptwissen, welches sich durch die Vernetzung isolierter Fakten und der Übertragung des Wissens auf neue Sachverhalte charakterisiert, sowie prozedurales Wissen können eher weniger gefördert werden (Kulgemeyer et al., 2023a). Mit dem Einsatz von Erklärvideos im Lernprozess ist die Intention jedoch

⁶ Im Folgenden wird die Subkategorie "Video-Tutorials" zur Beschreibung des Videoformats "Erklärvideos" ausgeschlossen.

die Förderung von nachhaltigem Wissen. Um dies zu erreichen, bedarf es zum einen der geeigneten didaktischen Gestaltung und zum anderen der geeigneten Einbettung in den Lernprozess, um eine aktive Auseinandersetzung mit den Inhalten zu ermöglichen (Kulgemeyer et al., 2023a; Vonschallen et al., 2024). Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden Qualitätskriterien für Erklärvideos geschildert und anschließend mögliche Einbettungsformen in den Lernprozess zur Förderung nachhaltigen Wissens vorgestellt.

Ein zentraler Aspekt in der Gestaltung von Erklärvideos bezieht sich auf die Berücksichtigung von Gestaltungskriterien multimedialer Lernumgebungen. In diesem Kontext postulierte Mayer (2009) zwölf Kriterien, welche in der Gestaltung multimedialer Lernumgebungen zu berücksichtigen sind (Kapitel 2.1.2). Bei der Konzeption von Erklärvideos ist neben der medialen Umsetzung auch auf die inhaltliche Ausgestaltung der Erklärung zu achten, um eine optimale Lernwirksamkeit zu gewährleisten (Kapitel 2.2.2). Zur Vermittlung des deklarativen Wissens werden Erklärvideos unter Zuhilfenahme instruktionaler Erklärungen gestaltet. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit die Kriterien guten Erklärens mit den Qualitätskriterien von Erklärvideos übereinstimmen (Kulgemeyer, 2020).

Ein Kernpunkt der Qualitätskriterien von Erklärungen bezieht sich auf die Adaption (Wittwer & Renkl, 2008). Dabei ist nicht nur die Angepasstheit der Erklärung an die Lernenden zu verstehen, indem Vorwissen, Interessen und Schülervorstellungen berücksichtigt werden (Wittwer & Renkl, 2008). Adaption berücksichtigt auch die aktive Anpassung der Erklärung an die Adressat:innen im Prozess des Erklärens (Kulgemeyer, 2019b; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). So können im Erklärprozess im Sinne einer bidirektionalen Kommunikation erneute Erklärungen angeboten werden, die aus Rückfragen oder Unklarheiten der Lernenden resultieren (Kulgemeyer, 2019b; Kulgemeyer & Geelan, 2024). Erklärvideos, die als feststehendes Medium konzipiert sind, können sich nicht an individuelle Lernbedürfnisse der Adressat:innen anpassen (Kulgemeyer, 2019a). Folglich ist zur Gewährleistung einer optimalen Adaption der Erklärung in Erklärvideos eine Anpassung an bestehendes Wissen, Interessen und Schülervorstellungen sowie der Einsatz von Veranschaulichungswerkzeugen erforderlich (Kulgemeyer et al., 2023a). Findeisen et al. (2019) empfehlen darüber hinaus Erklärvideos mit interaktiven Elementen zu verknüpfen, um es Lernenden zu ermöglichen, sich aktiv mit dem Video auseinanderzusetzen, indem sie Inhalte wiederholen, überspringen oder das Video

pausieren. Anderenfalls führt die fehlende Interaktivität dazu, dass die Informationsverarbeitung aufgrund der kurzzeitigen Präsentation der Inhalte erschwert wird (Findeisen et al., 2019).

Das Kriterium des Sprech- und Körperausdrucks, welches nach Lindl et al. (2019) ein Kriterium guten Erklärens darstellt, wird in der Beschreibung der Qualitätskriterien von Erklärvideos nach Kulgemeyer (2018) ebenfalls nicht einbezogen (Frei et al., 2020). Allerdings führt Kulgemeyer (2018) an, dass die weiteren Kriterien guten Erklärens auf Erklärvideos übertragbar sind. Eine Übersicht der Qualitätskriterien nach Kulgemeyer et al. (2023a, S. 229) sind in Tabelle 2-3 angegeben. Diese beziehen sich dabei auf inhaltliche Aspekte hinsichtlich der Erklärung in Erklärvideos (Kulgemeyer, 2018).

Neben der Adaption der Erklärung an die Adressat:innen unter Einbezug von Veranschaulichungswerkzeugen zählt auch die Verdeutlichung der Relevanz des Erklärvideos als Qualitätskriterium. Dies erfolgt, indem die Relevanz direkt betont wird oder indem die Adressat:innen durch eine direkte Ansprache einbezogen werden. Des Weiteren ist die Berücksichtigung der Videostruktur von Bedeutung. Ist das primäre Ziel des Videos die Vermittlung von Prinzipien, so soll das Video einer Regel-Beispiel-Struktur folgen. Hingegen sollte die Beispiel-Regel-Struktur gewählt werden, wenn das Ziel die Erklärung einer Handlung im Sinne eines Video-Tutorials ist. Ein weiteres strukturgebendes Element ist die Zusammenfassung am Ende des Erklärvideos. Weitere Kriterien fordern, dass die Erklärungen in den Videos präzise und kohärent sind und dass Prinzipien thematisiert werden, welche aufgrund ihrer Komplexität ungeeignet für Selbsterklärungen sind. Von besonderer Bedeutung ist jedoch die Einbettung des Erklärvideos in den Unterrichtsgang bzw. in den Lernprozess. Dies kann durch anschließende Lernaufgaben oder durch die interaktive Gestaltung des Videos ermöglicht werden und ist entscheidend zur Förderung nachhaltigen Wissens, indem durch die Wissensübertragung Konzeptwissen entwickelt wird (Brame, 2016; Kulgemeyer et al., 2023a).

Den Einfluss der Qualitätskriterien von Erklärvideos auf den Lernerfolg untersuchte Kulgemeyer (2018) im Rahmen einer Vergleichsstudie, indem er den Unterschied zwischen zwei Gruppen hinsichtlich des deklarativen Wissenszuwachses gemessen hat. Die Gruppen unterschieden sich hinsichtlich der Qualität der zur Verfügung gestellten Erklärvideos. Kulgemeyer (2018) konnte zeigen, dass beide Gruppen signifikanten Lernzuwachs hinsichtlich des deklarativen Wissens erreichten. Jedoch erreichte die Gruppe mit den höherqualitativen Videos ein signi-

fikant besseres Post-Test-Ergebnis als die Vergleichsgruppe. In Bezug auf Konzeptwissen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Als eine mögliche Ursache nennt Kulgemeyer (2018) das Fehlen einer anschließenden Lernaufgabe. Auch in der Untersuchung nach Sterzing (2022) konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Handlungs- und Konzeptwissens zwischen den Gruppen, die qualitativ niedrige oder hohe Erklärvideos erhielten. Dennoch können mehrere Studien die Wirksamkeit einzelner Gestaltungskriterien hinsichtlich des Lernzuwachses bestätigen. Die Metaanalyse nach Findeisen et al. (2019) bietet hierzu eine Übersicht.

Tabelle 2-3: Inhaltliche Qualitätskriterien für Erklärvideos (nach Kulgemeyer et al., 2023a, S. 229)

Kernidee	Kriterium	Beschreibung
<i>Adaption</i>	Adaption an Vorwissen, Fehlvorstellungen und Interesse	Das Video bezieht sich auf gut beschriebene Eigenschaften einer Adressatengruppe (wahrscheinliches Vorwissen, Interessen, Schülervorstellungen).
<i>Veranschaulichungswerkzeuge nutzen</i>	Beispiele	Das Video nutzt Beispiele, um das Erklärte zu veranschaulichen.
	Analogien und Modelle	Das Video nutzt Analogien und Modelle, um die neue Information mit bekannten Wissensbereichen zu verbinden.
	Darstellungsformen und Experimente	Das Video nutzt Darstellungsformen und Experimente zur Veranschaulichung.
	Sprachebene	Das Video wählt eine Sprachebene passend zur beschriebenen Adressatengruppe.
	Mathematisierungsgrad	Das Video wählt einen Mathematisierungsgrad passend zur beschriebenen Adressatengruppe.
<i>Relevanz verdeutlichen</i>	Prompts zu relevanten Inhalten geben	Das Video betont, a) warum das Erklärte wichtig für die Adressatengruppe ist und b) gibt Prompts zu besonders wichtigen Teilen.
	Direkte Ansprache der Adressat:innen	Das Video involviert die Adressat:innen durch Handlungsaufforderungen und direkte Ansprache (statt unpersönlichem Passiv).
<i>Struktur geben</i>	Regel-Beispiel oder Beispiel-Regel	Wenn Fachwissen das Lernziel ist, wird eine Regel-Beispiel-Struktur bevorzugt, bei Routinen eine Beispiel-Regel-Struktur.
	Zusammenfassungen geben	Das Video fasst die wesentlichen Aspekte zusammen.
<i>Präzise und kohärent erklären</i>	Exkurse vermeiden	Das Video fokussiert auf die Kernidee, vermeidet Exkurse und hält den <i>Cognitive Load</i> gering. Insbesondere verzichtet es auf zu viele Beispiele, Analogien, Modelle oder Zusammenfassungen.
	Hohe Kohärenz des Gesagten	Das Video verbindet Sätze durch Konnektoren, insbesondere „weil“. Substantive werden zudem immer gleich benannt.
<i>Konzepte und Prinzipien erklären</i>	Neues und komplexes Prinzip als Thema	Das Video bezieht sich auf ein neues Prinzip, das zu komplex zur Selbsterklärung ist.
<i>In Unterrichtsgang einbetten</i>	Anschließende Lernaufgaben/interaktive Elemente	Das Video beschreibt eine Lernaufgabe, mit der das Erklärte selbst vertieft werden kann. <i>alternativ/ergänzend:</i> Das Video enthält Maßnahmen, die zu einer Aktivierung der Lernenden beitragen (z. B. interaktive Elemente, die der Sachauseinandersetzung dienen).

2.3.3 Einsatzmöglichkeiten von Erklärvideos

Neben der medialen sowie inhaltlichen Gestaltung von Erklärvideos zeigt sich anhand der zuvor beschriebenen Qualitätskriterien, dass auch die Einbettung der Videos im Lernprozess entscheidend für den Lernerfolg ist. Wolf und Kulgemeyer (2016) systematisieren die möglichen Einsatzformen in Abhängigkeit von der produzierenden und rezipierenden Person. Diese sind je nach Intention die Lehrperson oder die Lernenden. Die für die Lernenden entscheidenden Einsatzformen sind nach Kulgemeyer et al. (2023a) die Rezeption fremdergestellter Videos zum Erwerb von Fachwissen oder die Erstellung eigener Videos zum Erwerb von Fachwissen und der Kommunikationsfähigkeit. Die Kommunikationsfähigkeit bezieht sich jedoch in erster Linie auf die Erklärfähigkeit im Rahmen der Erklärvideoerstellung. Diese beiden Einsatzmöglichkeiten von Erklärvideos werden im Folgenden näher erläutert.

Das Rezipieren von fremdergestellten Erklärvideos eignet sich besonders für Lernende mit geringem Vorwissen hinsichtlich des zu thematisierenden Konzeptes (Kulgemeyer, 2019b; Kulgemeyer et al., 2023a). Sterzing (2022) konnte in seiner Untersuchung nachweisen, dass vor allem die Lernenden mit geringem Vorwissen von dem Einsatz fremdergestellter Erklärvideos profitieren. Diesen Lernenden wird das Erklärvideo, welches den Qualitätskriterien für gute Erklärvideos folgen sollte, zur Verfügung gestellt. Die in dem Video anhand von Beispielen erklärten Konzepte können zur Förderung deklarativen Wissens beitragen. Um das Wissen jedoch vernetzen und transferieren zu können, um Konzeptwissen zu generieren, ist die Übertragung des deklarativen Wissens auf neue Beispiele notwendig (Kulgemeyer et al., 2023a; Wolf & Kulgemeyer, 2016). Im Kontext von Unterrichtsprozessen empfehlen Kulgemeyer et al. (2023a) zudem, Erklärvideos in das Unterrichtsgespräch einzubinden. Dies dient der Diagnostik von eventuellen Verständnisschwierigkeiten, um im Anschluss adäquat darauf reagieren zu können. Somit wird das Kriterium der Adaption, welches durch das bloße Bereitstellen eines Erklärvideos nicht gegeben ist, umgesetzt. In Hinblick auf die fehlende Adaption eines Erklärvideos zeigt sich, dass Erklärvideos den Unterricht nicht ersetzen können (Kulgemeyer, 2019a). Sie sollten lediglich als unterstützendes Element im Lehr- und Lernprozess eingesetzt werden. Ein möglicher Ablauf eines Lernprozesses unter dem Einsatz fremdergestellter Erklärvideos ist in Abbildung 2-4 nach Kulgemeyer et al. (2023a, S. 235) dargestellt.

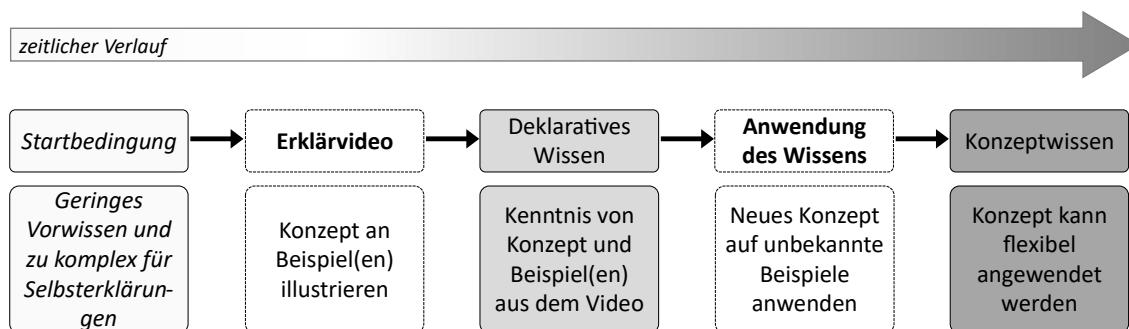


Abbildung 2-4: Lernprozess mit fremderstellten Erklärvideos. Eigene Abbildung in Anlehnung an Kulgemeyer et al. (2023a, S. 235)

Bezüglich der Lernwirksamkeit von Erklärvideos untersuchten mehrere Studien, inwieweit Gestaltungsmerkmale diese beeinflussen. In der Metaanalyse nach Findeisen et al. (2019) wird eine Übersicht verschiedener Studien dargestellt, die wiedergibt, welche Gestaltungskriterien zu einem höheren Lernerfolg beitragen. Besonders Stellenwert haben dabei Lernaufgaben im Anschluss an das Video. Dieser Schritt im videogestützten Lernen zielt auf eine aktive Auseinandersetzung mit den Videoinhalten ab, wodurch die Konstruktion neuen Wissens gefördert wird. Clemmons und Posey (2016) führen an, dass der Prozess der Wissenskonstruktion alternativ durch die eigenständige Produktion von Lernvideos erfolgen kann. Neben der Wissensförderung weisen die Autoren zudem darauf hin, dass die Erstellung von Lernvideos darüber hinaus die Grundbedürfnisse der Selbstbestimmungstheorie nach Deci und Ryan (1993) erfüllt.

Das Selbsterstellen von Erklärvideos als Methode zum Wissenserwerb eignet sich nach Kulgemeyer et al. (2023a) besonders für Lernende mit hohem Vorwissen zu den Fachkonzepten. Der Einsatz bei Lernende mit geringem Vorwissen ist mit einem höheren Zeitaufwand für die Lernenden verbunden. Bei beiden Gruppen ist das Selbsterstellen eines Erklärvideos mit einer Konzeption eines Drehbuchs verbunden. Um dieses zu erstellen, bedarf es einer fachlichen und inhaltlichen Analyse des Themas. Dabei werden die entscheidenden Konzepte erklärt und Zusammenhänge dargestellt. Eine Voraussetzung des Erstellens eines Drehbuchs liegt in der Berücksichtigung der Zielgruppe. Da eine Adaption der Erklärung im Anschluss an die Fertigstellung des Videos nicht möglich ist, ist hier der entscheidende Punkt, um die Erklärung adäquat an die Adressat:innen anzupassen. Während der Konzeption des Drehbuchs werden bereits mediale Gestaltungskriterien

beachtet und die Qualitätskriterien für Erklärvideos angewendet. Erst im Anschluss steht die Produktion des Videos an. Kulgemeyer et al. (2023a) empfehlen als letzten Schritt des Lernprozesses eine Reflexionsphase einzubauen. Dies dient der Überprüfung fachlicher und inhaltlicher Aspekte und dient als weitere Lerngelegenheit für Fachwissen und Kommunikation. Inwieweit dies tatsächlich zu einer erhöhten Kompetenz beiträgt, konnte bislang nicht empirisch nachgewiesen werden. In der Studie nach Börger (2022) zeigt sich, dass das Erklären unter Videoaufzeichnung zu signifikant besseren Lernerfolgen führt, sowohl hinsichtlich des kurzfristigen als auch des langfristigen Lernens. Es ist jedoch anzumerken, dass der gemessene Lernerfolg auf das Generieren einer Erklärung zurückzuführen ist und weniger auf die Erstellung eines Erklärvideos. Auch die Studien nach Fiorella und Mayer (2013, 2014) führen an, dass Lernerfolg durch das Generieren von Erklärungen hervorgerufen wird (Kapitel 2.2.3). Inwiefern der Prozess des Selbsterstellens von Erklärvideos einen Einfluss auf den Lernerfolg ausübt, bleibt offen.

2.4 Beispielbasiertes Lernen

Nach VanLehn (1996) stellt neben dem Darbieten instruktionaler Erklärungen auch das Lernen mit Beispielen einen wesentlichen Faktor zum Erwerb kognitiver Fähigkeiten dar. Von besonderer Bedeutung sind dabei ausgearbeitete Lösungsbeispiele. Die Effektivität im Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen konnte dabei in zahlreichen Untersuchungen belegt werden, die oftmals in Themengebieten mit einem hohen Grad an Strukturiertheit durchgeführt wurden. Video-Modeling-Examples stellen neben Lösungsbeispielen eine alternative Methode des beispielbasierten Lernens dar, die sich insbesondere für Novizen als besonders effektiv erweist.

Das folgende Kapitel widmet sich der Beschreibung von Lösungsbeispielen und Video-Modeling-Examples. Dabei werden die Effektivität des Einsatzes beider Methoden im Lernprozess belegt sowie die lernförderliche Gestaltung beispielbasierter Lernmaterialien beschrieben.

2.4.1 Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen

Eine verbreitete und gut untersuchte Methode im Kontext des beispielbasierten Lernens sind ausgearbeitete Lösungsbeispiele (*Worked-Out Examples*). Der Aufbau solcher Beispiele ist typischerweise dreigeteilt. Sie bestehen aus einer Problemstellung, den dazugehörigen Lösungsschritten und der finalen Lösung (Renkl, 1997, 2014; Renkl et al., 1998). Im Rahmen ausgearbeiteter Lösungsbeispiele werden „allgemeine Gesetze und Prinzipien auf einen konkreten Fall angewendet“ (Mackensen-Friedrichs, 2004, S. 19). Durch den schrittweisen Aufbau dienen sie dabei den Lernenden als Modell für die Anwendung auf ähnliche Problemstellungen (Renkl & Schworm, 2002; Renkl et al., 1998). Die konkrete Anwendung von zuvor eingeführten Konzepten, Gesetzen und Prinzipien führt zu einem tiefgreifenden Lernen und Verständnis dieser (Koenen et al., 2017; Renkl & Schworm, 2002). Renkl und Schworm (2002) betonen, dass die Darstellung eines einzelnen Lösungsbeispiels dafür nicht ausreichend ist. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine Phase des Lernprozesses, die sich ausschließlich dem Lernen mit Lösungsbeispielen widmet.

Ausgearbeitete Lösungsbeispiele sind besonders in Bereichen mit strukturgebundenen Aufgaben, wie sie in den Naturwissenschaften zu finden sind, von großer Bedeutung (Renkl & Schworm, 2002; van Gog & Rummel, 2010; VanLehn,

1996). Dies spiegelt sich auch in dem Aufbau naturwissenschaftlicher Lehrbücher wider. Der Anteil ausgearbeiteter Lösungsbeispiele nimmt zu, je höher der Stellenwert der Förderung der Problemlösungskompetenz ist (Mackensen-Friedrichs, 2004). Aus diesem Grund übertrifft der Anteil an Beispielaufgaben in Universitätslehrbüchern den in Schulbüchern, in denen diese oft eine untergeordnete Rolle spielen (Mackensen-Friedrichs, 2004).

Die Bedeutung ausgearbeiteter Lösungsbeispiele im Lernprozess beruht auf der Förderung kognitiver Fähigkeiten (VanLehn, 1996). Cooper und Sweller (1987) führen an, dass die wesentlichen Faktoren, welche die Problemlösungskompetenz von Lernenden beeinflussen, der Erwerb und die Automatisierung von Schemata sind. Insbesondere die Automatisierung trägt zur erfolgreichen Bearbeitung von Transferaufgaben bei (Cooper & Sweller, 1987). Ausgearbeitete Lösungsbeispiele stellen dabei eine entscheidende Möglichkeit dar, diese zu erlernen. Cooper und Sweller (1987) gehen zudem davon aus, dass das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen dahingehend effektiver ist als das Lernen durch eigenständiges Lösen von Problemstellungen. Die Autoren führen dies auf die höhere kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die eigenständige Anwendung von Problemlösestrategien zurück (Chandler & Sweller, 1991; Choi et al., 2014; Cooper & Sweller, 1987). Dies hat eine Beeinträchtigung des Lernfortschrittes zur Folge, da die kognitiven Kapazitäten nicht für den Verständnisaufbau oder der Konstruktion von Schemata zur Verfügung stehen (Renkl & Schworm, 2002). Dahingegen bleibt die kognitive Belastung des Problemlösens bei Lösungsbeispielen aus, sodass die kognitiven Ressourcen für den Lernprozess verfügbar sind (Renkl, 2014; Renkl & Schworm, 2002). Der vermehrte Einsatz von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen kann demnach auch die Fähigkeit zum Transfer erhöhen (Cooper & Sweller, 1987; Lind et al., 2004). Koenen et al. (2017) heben hervor, dass die Effektivität des Lernens mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen abhängig von der aktiven Wissensverarbeitung durch die Nutzung mehrerer kognitiver Ressourcen ist. Mehrere Studien untersuchten aus diesem Grund den Zusammenhang von Lernen mit Lösungsbeispielen und Selbsterklärungen (Chi et al., 1989; Renkl, 1997; Renkl et al., 2000; Renkl et al., 1998). Die aktive Auseinandersetzung durch die Generierung von Selbsterklärungen führt in diesem Kontext zu gesteigerten Lernerfolgen (Kapitel 2.2.3). Diese Vorgehensweise basiert darauf, dass die Lernenden die Konzepte, welche den Lösungsschritten zugrunde liegen, durch eine Selbsterklärung eigenständig vergegenwärtigen und verinnerlichen (Renkl & Schworm, 2002). Erst durch diese aktive Verarbeitung kann der Wissenserwerb ermöglicht werden.

Die höhere Effektivität im Lernen mit Lösungsbeispielen verglichen zu Problemlöseaufgaben wird durch den *Worked-Example-Effekt* beschrieben (Nieveelstein et al., 2013; Renkl, 2014; Sweller et al., 1998; van Gog et al., 2011). Dieser zeigt insbesondere bei Novizen den größten Effekt (Atkinson et al., 2000; Koenen et al., 2017; Sweller et al., 1998). Novizen verfügen noch nicht über die erforderlichen Schemata, die zum Problemlösen benötigt werden (Kant et al., 2017). Das Lernen mit Lösungsbeispielen unterstützt dabei den Prozess des Aufbaus von Schemata. Mit steigendem Wissen der Lernenden nimmt der Bedarf an Unterstützung durch beispielbasierte Lernmaterialien jedoch ab. Gleichzeitig gewinnt die Bedeutung von Problemlöseaufgaben an Relevanz (Kalyuga et al., 2003; van Harsel et al., 2022).

Bei der Konzeption von Lösungsbeispielen ist zu beachten, dass deren Gestaltung einen wesentlichen Einfluss auf den Lernerfolg ausübt. Bei der Gestaltung ausgearbeiteter Lösungsbeispiele ist neben der eigentlichen Gestaltung der einzelnen Beispiele (*Intra-Beispiel-Merkmale*) auch wichtig zu beachten, wie mehrere Beispiele miteinander verknüpft werden (*Inter-Beispiel-Merkmale*) (Atkinson et al., 2000; Renkl & Schworm, 2002). Hinsichtlich der Intra-Beispiel-Merkmale ist es besonders relevant, die Kriterien multimedialer Lernumgebungen nach Mayer (2009) zu berücksichtigen (Renkl, 2014). Dazu zählt auch, die kognitiven Ressourcen der Lernenden nicht durch die Präsentation mehrerer Informationsquellen in Anspruch zu nehmen (Atkinson et al., 2000; Mwangi & Sweller, 1998). Informationen, die demnach beispielsweise aus einem Text und Diagramm stammen, sollten somit integriert werden, um die kognitive Belastung der Lernenden zu reduzieren (Atkinson et al., 2000). In Rahmen der Inter-Beispiel-Merkmale erfolgt eine Fokussierung auf die Auswahl mehrerer Beispiele, die trotz vergleichbarer Oberflächenmerkmale unterschiedliche Problemstrukturen aufweisen (Atkinson et al., 2000; Renkl & Schworm, 2002). Die Auswahl von Lösungsansätzen seitens der Lernenden erfolgt häufig nicht auf Basis struktureller Merkmale, sondern auf Grundlage oberflächlicher Überlegungen. Dies führt mitunter zur Wahl eines inkorrekten Lösungsansatzes (Quilici & Mayer, 1996; Renkl & Schworm, 2002). Um dem entgegenzuwirken, sollten strukturelle Merkmale der Lösungsbeispiele hervorgehoben und gegenübergestellt werden. So können auch Aufgaben mit gleicher Struktur jedoch mit unterschiedlichen Oberflächenmerkmalen den Lernprozess unterstützen. Die Berücksichtigung der Gestaltungsmerkmale gewährleistet die Effektivität der ausgearbeiteten Lösungsbeispiele durch Reduktion der kognitiven Belastung der Lernenden (Koenen et al., 2017; Renkl, 2014).

Neben dem gesteigerten Lernerfolg kann zudem gezeigt werden, dass das Lernen mit Lösungsbeispielen weniger Zeit in Anspruch nimmt als das Lernen mit regulären Beispielen. Die Bearbeitung von Problemstellungen verläuft folglich auch schneller und weniger fehlerbehaftet (T. S. Hilbert et al., 2008; Sweller & Cooper, 1985). Schüßler (2016) präsentiert hierzu eine Zusammenfassung der Ergebnisse mehrerer empirischer Studien in ihrer Arbeit. In zahlreichen Studien konnte darüber hinaus festgestellt werden, dass Lernende das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen dem Lernen aus Lehrbüchern vorziehen. Dies konnte u. a. von LeFevre und Dixon (1986) oder Pirolli und Recker (1994) nachgewiesen werden. Im Bereich der Chemie wurde in der Studie von Koenen et al. (2017) die Effektivität im Einsatz experimentgestützter Lösungsbeispiele untersucht. Entgegen der klassischen Forschung im Bereich des Lernens mit Lösungsbeispielen wurden in dieser Studie keine algorithmischen Lösungsbeispiele eingesetzt. Das bedeutet, dass die Lösungsschritte nicht durch mathematische Teilschritte, sondern durch erklärende Texte dargestellt werden. Die auf diese Weise entwickelten heuristischen Lösungsbeispiele können zudem durch Grafikelemente wie Abbildungen oder Diagramme ergänzt werden (Kölbach et al., 2015). Die Problemstellung, welche dem vorliegenden Lösungsbeispiel vorausgeht, wird folglich nicht durch Rechenschritte gelöst, sondern mithilfe chemischen Fachwissens. Dieses wird durch die Präsentation des Lösungsbeispiels den Lernenden vermittelt (Kölbach et al., 2015). Die Ergebnisse nach Koenen et al. (2017) deuten darauf hin, dass die positiven Effekte vorausgehender Studien zu ausgearbeiteten Lösungsbeispielen nicht auf experimentunterstützte Lösungsbeispiele zu übertragen sind. Auch Kölbach et al. (2015) untersuchten neben algorithmischer Lösungsbeispielen ebenfalls heuristische Ansätze. Die Ergebnisse zeigen die Effektivität beider Ansätze in Form gesteigerter Lernzuwächse.

Die von Schüßler (2016) durchgeführte Studie hat ergeben, dass sich Lernende chemische Fachinhalte durch das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen selbstständig aneignen können. Dabei handelte es sich nicht nur um kurzfristigen, sondern auch um langfristigen Wissenserwerb. Da jedoch unklar ist, welche Inhalte zwischen Post- und Follow-Up-Test im Unterricht behandelt wurden, bleibt offen, ob der langfristige Wissenserwerb tatsächlich auf die Intervention zurückzuführen ist. Gleichwohl zeigen die Ergebnisse, dass die Schüler:innen durch das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen Transferwissen erwerben konnten. Schüßler (2016) erachtet folglich Lösungsbeispiele als potentielle Ergänzung naturwissenschaftlichen Unterrichts. Weiterhin untersuchte Schüßler (2016) im Kontext der ausgearbeiteten Lösungsbeispiele den Effekt von Selbsterklärungen. Im

Widerspruch zu bisherigen Forschungsergebnissen, konnte sie keine Überlegenheit beim Generieren von Selbsterklärungen im Lernen mit Lösungsbeispielen feststellen. Dagegen konnte einer Studie nach Maier-Richter (2005) im Bereich der Chemie nachweisen, dass die Integration von Selbsterklärungen im Lernen mit Lösungsbeispielen zu einer signifikanten Steigerung des Lernzuwachses führt. Kölbach und Sumfleth (2013) untersuchten im Zusammenhang mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen die Kontexteffekte beim Lernen mit chemischen Aufgaben. Im Rahmen der Untersuchung zeigte sich, dass die Proband:innen die Lösungsbeispiele als lernwirksam einstufen. Kölbach und Sumfleth (2013) leiten aus ihrer Untersuchung ab, dass der Einsatz ausführlich dargestellter Lösungsbeispiele eine didaktische Unterstützung im Schulunterricht darstellt und dazu beitragen kann, komplexe Buchtexte zu ergänzen. Darüber hinaus können sie „als Instruktionsmaterial für Einzel- aber auch Gruppenarbeitsphasen dienen“ (Kölbach & Sumfleth, 2013, S. 184). Dies verdeutlicht das Potenzial des Einsatzes ausgearbeiteter Lösungsbeispiele im Lernprozess.

2.4.2 Video-Modeling-Examples

Wie zuvor beschrieben entsprechen Lösungsbeispiele schriftlichen Ausarbeitungen einzelner Lösungsschritte, welche die Herangehensweise zum Lösen einer Problemstellung modellieren. Zur Unterstützung des Lernens mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen werden vermehrt videografische Modellierungen eingesetzt – die sogenannten *Video-Modeling-Examples* (Renkl, 2014). Diese entsprechen Lernvideos, in welchen der Lösungsweg schrittweise demonstriert und zugleich erklärt wird (van Harsel et al., 2022). Im Rahmen der Videoerstellung stehen mehrere methodische Ansätze zur Verfügung, um den Inhalt effektiv zu vermitteln. Einerseits besteht die Möglichkeit, die Person direkt bei der Ausführung der Handlung zu filmen, wodurch eine unmittelbare Darstellung gewährleistet wird. Alternativ kann eine Bildschirmaufnahme angefertigt werden, um die schrittweisen Abläufe der Lösungsbeispiele digital zu demonstrieren (van Gog & Rummel, 2010). Jede dieser Optionen bietet spezifische Vorteile, je nach dem angestrebten Ziel und der Art des zu vermittelnden Inhalts.

Zum Vergleich der Effektivität zwischen schriftlichen Lösungsbeispielen und Video-Modeling-Examples dient u. a. die Studie von Hoogerheide et al. (2014a). Obgleich keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs erfasst wurden, stellte sich eine differenzierte Präferenz in Abhängigkeit der Anzahl der dargestellten

Beispiele fest. Mit steigender Anzahl an präsentierten Beispielen verschob sich die Präferenz in Richtung der Lösungsbeispiele. van Harsel et al. (2022) folgern daraus, dass die beiden Methoden zum passenden Zeitpunkt innerhalb des Lernprozesses zum Einsatz gelangen sollten. Video-Modeling-Examples könnten sich besonders in der Anfangsphase des Lernprozesses eignen, während Lösungsbeispiele zu einem späteren Zeitpunkt eingesetzt werden sollten (van Harsel et al., 2022). Diese Einschätzung basiert auf der höheren Lernunterstützung der Video-Modeling-Examples. Diese präsentieren Informationen schrittweise und unter dem Einsatz von mündlichen Erklärungen und grafischen Elementen. Diese Gestaltungsweise leitet die Lernenden stärker durch den Lösungsweg. Lösungsbeispiele hingegen bergen insbesondere für Novizen das Risiko einer kognitiven Überlastung, da die Informationen nicht schrittweise präsentiert werden, sondern zeitgleich. Die simultane Präsentation aller Informationen ermöglicht jedoch gleichzeitig eine effizientere Suche nach expliziten Lösungsschritten im Vergleich zu videografischen Lösungsbeispielen (van Harsel et al., 2022). Aus diesem Grund könnten sich schriftliche Ausarbeitungen besonders im späteren Lernprozess eignen, wenn bereits Vorkenntnisse bestehen und keine Notwendigkeit für eine schrittweise Präsentation besteht. Bestätigt werden konnte diese Einschätzung durch die Untersuchung von van Harsel et al. (2022). Dabei wurden Proband:innen im Laufe ihres Lernprozesses sowohl Video-Modeling-Examples, Lösungsbeispiele und problembasierte Aufgaben zur Verfügung gestellt. Die Mehrheit der Proband:innen wählte zu Beginn der Untersuchung die Video-Modeling-Examples als Lernmaterial. Diese Präferenz nahm jedoch mit Fortschreiten des Lernprozesses ab. Dennoch wurden die beispielorientierten Lernmaterialien (Video-Modeling-Examples sowie Lösungsbeispiele) häufiger als die Problemlöseaufgaben bevorzugt (van Harsel et al., 2022). Kant et al. (2017) fanden in ihrer Studie heraus, dass das Anschauen eines Video-Modeling-Examples vor dem Bearbeiten von Problemlöseaufgaben zu besseren Testergebnissen führte als zuerst Problemlöseaufgaben bearbeiten zu müssen. Sie führten dies auf die Aneignung passender Schemata mithilfe der Video-Modeling-Examples zurück. Auch weitere Studien belegen, dass das beispielorientierte Lernen insbesondere für Novizen hilfreicher ist als lediglich das Lernen mit Problemlöseaufgaben. Diesbezüglich seien die Ergebnisse der Studie von van Gog et al. (2011) angeführt, welche jedoch insofern bemerkenswert sind, da sie keinen signifikanten Unterschied zwischen rein beispielorientiertem Lernen und beispielorientiertem Lernen mit anschließenden Problemlöseaufgaben feststellen konnten. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, auf welche Weise die Effektivität beispielbasierten Lernens begründet werden kann. Der

Worked-Example-Effekt wurde in Kapitel 2.4.1 als Begründung für die Effektivität von Lösungsbeispielen angeführt. Nach van Harsel et al. (2022) lässt sich der Effekt auch auf Video-Modeling-Examples übertragen, sodass anstelle des Begriffs „*Worked-Example-Effekt*“ der „*Example-Based-Learning-Effekt*“ (*beispielgestützter Lerneffekt*) verwendet wird. van Gog und Rummel (2010) berücksichtigen hinsichtlich des Lernens mit Video-Modeling-Examples einen weiteren kognitionspsychologischen Aspekt. Dabei beziehen sie sich auf Bandura (1977, 1986), wonach die Lernenden als beobachtende Personen eine kognitive Repräsentation des Verhaltens des Models erwerben. Das beobachtete Verhalten kann zu einem späteren Zeitpunkt abgerufen und selbst ausgeführt werden. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, die Aufmerksamkeit der beobachtenden Person auf lernrelevante Aspekte zu lenken (van Gog & Rummel, 2010). Hierzu müssen gestalterische Aspekte, wie sie für Lösungsbeispiele verwendet wurden, bei der Erstellung von Video-Modeling-Examples berücksichtigt werden, da sie als Vorlage für die Beobachtung dienen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, das Lernen mit Video-Modeling-Examples als einen konstruktiven Lernprozess zu gestalten, wobei die Informationen in das bereits bestehende Wissen zu integrieren sind (van Gog & Rummel, 2010). In diesem Kontext erweisen sich Übungsgelegenheiten, die die Anwendung der beobachteten Verhaltensweisen erfordern, als besonders geeignet. Dies steht in Analogie zu anschließenden Lernaufgaben, welche Kulgemeyer (2019b) zufolge ein Qualitätskriterium effektiver Erklärvideos darstellen.

Die Effektivität des Einsatzes von Video-Modeling-Examples wurde im Bereich der Hochschulmathematik von Kay und Kletschin (2012) untersucht. Es zeigte sich, dass der Einsatz der Lernvideos sowohl zu einem signifikanten Lernzuwachs führte als auch eine signifikante Steigerung der Selbsteinschätzung zur Folge hatte. Neben dem Einsatz von Video-Modeling-Examples zur Unterstützung der Lernenden besteht darüber hinaus die Möglichkeit, diese von den Lernenden selbst erstellen zu lassen. Dies war der Ansatzpunkt der Untersuchung von Hoogerheide et al. (2014b). Das Erstellen von Video-Modeling-Examples als Lernmaßnahme setzt ausreichendes Vorwissen der erstellenden Person voraus. Ist dieses nicht vorhanden, bedarf es einer intensiven Auseinandersetzung mit den thematischen Inhalten. Mit dem Wissen, Inhalte einer anderen Person erklären zu müssen, setzen sich Lernende tiefgreifender mit diesen auseinander (Hoogerheide et al., 2014b). Untersuchungen zu kooperativen Lernformen zeigen vergleichbare Effekte, da Lernende in der Vermittlungsphase Inhalte einander erklären (M. Tepner et al., 2009). In Einklang mit Erkenntnissen bestehender Studien, welche die positive Wirkung

des eigenständigen Generierens von Erklärungen auf den Lernerfolg belegen, äußern Hoogerheide et al. (2014b) die Hypothese, dass das Erstellen von Video-Modeling-Examples einen lernförderlichen Effekt hat. Diese konnte hinsichtlich der Transferleistung im Vergleich zum Lernen für einen Test bestätigt werden (Hoogerheide et al., 2014b).

In Themenbereichen, die sich durch eine hohe Strukturiertheit auszeichnen, zeigt sich in der Forschung mit Video-Modeling-Examples oftmals eine Fokussierung auf die Selbsteinschätzung, während die Untersuchung des Lernerfolgs eine untergeordnete Rolle spielt (van Gog & Rummel, 2010). In der Forschung zum beispielbasierten Lernen wird diese Lernmethode meist mit problembasiertem Lernen verglichen. Allerdings bleibt die Frage offen, inwiefern der Input durch Video-Modeling-Examples einem Input in Form einer instruktionalen Erklärung vorzuziehen ist.

3 Ziele und Fragestellungen

Im Rahmen des Einführungsmoduls „Allgemeine Chemie“ wird den Studierenden eine Wissensbasis vermittelt, die ihnen als Grundlage für das kommende Chemiestudium dient. Das wesentliche Ziel dieser Studie war es, die Studierende dabei in der Entwicklung nachhaltigen Wissens sowie von Wissen, das über deklaratives Wissen hinausgeht, zu fördern.

Mehrere Studien konnten bereits die Wirksamkeit des Generierens von Erklärungen auf den Lernerfolg bestätigen (Chi et al., 1989; Fiorella & Mayer, 2013, 2014; Hausmann & VanLehn, 2007; Hoogerheide et al., 2014b). Da die Zielgruppe dieser Studie Lehramtsstudierende umfasst, eröffnet sich die Möglichkeit, neben der Vermittlung von Fachwissen auch die Erklärkompetenz der Studierenden zu fördern, welches im Interesse des angestrebten Berufs sein sollte. Die gleichzeitige Förderung von Fachwissen und Erklärkompetenz wird mit der Erstellung von Erklärvideos in Verbindung gebracht (Kulgemeyer et al., 2023a). Die Effektivität im Erstellen von Erklärvideos wurde zudem bereits in vorherigen Arbeiten beschrieben. Die dazugehörigen Studien entsprechen jedoch entweder keinen Vergleichsstudien, bei dem der Prozess der Videoerstellung mit einer Kontrollgruppe verglichen wird (Brame, 2016; Slopinski, 2016; Spires et al., 2012; Zahn et al., 2010) oder die erfasste Lernwirksamkeit der Studien bezieht sich allein auf das Generieren einer Erklärung (Fiorella & Mayer, 2013, 2014). Bisher fehlen jedoch empirische Studien, welche die Wirksamkeit auf den Prozess der Videoerstellung zurückführen lassen. Dieses Desiderat führt zur Frage, inwieweit der Akt des Erklärens oder der Akt der Videoerstellung entscheidend für den Lernerfolg sind. Aus diesem Grund wird untersucht, ob das Selbsterstellen von Lernvideos effektiver ist als das Erstellen einer Erklärung in Form einer schriftlichen Erklärung.

Die Stichprobe umfasst dabei Erstsemesterstudierende im Fach Chemie. Insbesondere Novizen profitieren von beispielbasiertem Lernen, wie es in Video-Modeling-Examples zum Einsatz kommt.

Der Vergleich in der Lernwirksamkeit von instruktionalen Lernvideos, wie es Erklärvideos sind, und beispielbasierten Videos, wie es Video-Modeling-Examples sind, stellt ein weiteres Desiderat in der empirischen Forschung dar. Um diesem zu begegnen, wird ergänzend der Einsatz von Erklärvideos und Video-Modeling-Examples im Lernprozess verglichen.

3.1 Förderung und Erfassung von Fachwissen

Die vorliegende Studie fokussiert zwei wesentliche Ziele, welche Grundlage zur Konzeption eines lernwirksamen Seminars darstellen. Ein Ziel besteht in der Förderung von Fachwissen in den Bereichen Analytische und Anorganische Chemie von Chemie-Lehramtsstudierenden mithilfe von eigenständig generierten Erklärungen. Die Studie unterteilt sich dabei in die zwei Abschnitte Hauptstudie 1 und Hauptstudie 2. Zur Erfassung des Lernzuwachses der Studierenden wird ein Fachwissenstest zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie vor Beginn und unmittelbar nach Ende des Seminars sowie drei Monate nach Abschluss des Seminars durchgeführt.

3.1.1 Förderung von Fachwissen durch das Erstellen von Lernvideos

Die Wirksamkeit des Selbsterstellens von Lernvideos verglichen mit Lernen anhand von Übungsblättern ohne Lernvideos wird im Rahmen der ersten Forschungsfrage untersucht.

Forschungsfrage 1:

Inwieweit führt das Selbsterstellen von Lernvideos in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben?

Das eigenständige Erstellen von Lernvideos setzt ein hohes Maß an Vorwissen voraus. Ist dieses nicht vorhanden, führt dies zu einer intensiven Auseinandersetzung mit den Lerninhalten, um dieses erklären zu können. Dabei werden grundlegende Konzepte durchdacht, welche im Rahmen von Übungsaufgaben angewendet werden müssen. Ausgehend von vorangehenden Studien, die eine gesteigerte Lernwirksamkeit durch das Erstellen von Lernvideos annehmen (Kulgemeyer et al., 2023a) oder belegen (Hoogerheide et al., 2014b), wird aus diesem Grund folgende Hypothese formuliert.

Hypothese 1:

Das Selbsterstellen von Lernvideos führt in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben.

3.1.2 Förderung von Fachwissen durch das Erstellen schriftlicher Erklärungen

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Erstellung schriftlicher Erklärungen in Anschluss an ein fremderstelltes Lernvideo wird die folgende Forschungsfrage untersucht.

Forschungsfrage 2:

Wie unterscheidet sich der Lernzuwachs in Abhängigkeit des Erstellens von schriftlichen Erklärungen?

Die Forschungsfrage 2 wird in zwei Teilfragen differenziert. In Bezug auf die erste Teilfrage werden die dargebotenen Lernvideos nicht hinsichtlich ihrer Gestaltungsart unterschieden.

Forschungsfrage 2.1:

Inwieweit führt das Erstellen von schriftlichen Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben?

Analog zur Hypothese 1 wird beim Erstellen einer schriftlichen Erklärung eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Lerninhalten angenommen. Das Verknüpfen von Informationen, um diese zu erklären, hat einen gesteigerten Lernzuwachs zur Folge (Börger, 2022; Fiorella & Mayer, 2013; VanLehn, 1996). In Anlehnung an bestehende Studien (Ruiz-Primo et al., 2010), wird hinsichtlich der Wirksamkeit schriftlicher Erklärungen folgende Hypothese angenommen.

Hypothese 2.1:

Das Erstellen von schriftlichen Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo führt in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben.

Hinsichtlich der Unterscheidung der angebotenen Lernvideos, in deren Anschluss die Studierenden schriftliche Erklärungen erstellen, wird folgende explorative Teilfrage untersucht. Bezüglich dieser Forschungsfrage wird keine Hypothese formuliert.

Forschungsfrage 2.2:

Wirken sich der Einsatz von Erklärvideos und Video-Modeling-Examples unterschiedlich auf den Lernzuwachs von Chemie-Lehramtsstudierenden aus?

3.1.3 Vergleich der Wirksamkeit schriftlicher und videografischer Erklärungen

Ergänzend wird die folgende explorative Forschungsfrage untersucht, ob das Selbsterstellen von Lernvideos oder das Erstellen schriftlicher Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo zu einem höheren Lernerfolg führt.

Forschungsfrage 3:

Führt das Selbsterstellen von Lernvideos oder das Erstellen schriftlicher Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo zu einem höheren Lernerfolg von Chemie-Lehramtsstudierenden?

3.2 Förderung und Erfassung von Erklärkompetenz

Das Konzipieren eigener Erklärungen dient neben der Steigerung des Fachwissens zudem der Förderung von Erklärkompetenz. Dies entspricht dem weiteren Ziel der vorliegenden Studie und des Seminarkonzepts. Die Erklärkompetenz der Studierenden wird mithilfe der schriftlichen Erklärungen aus den Hauptstudien 1 und 2 erhoben. Des Weiteren wird der Zusammenhang zwischen Erklärkompetenz und Lernzuwachs untersucht. Zur Erfassung der Erklärkompetenz der Studierenden wird die Qualität der schriftlichen Erklärungen mithilfe eines Kodiermanuals bewertet. Hinsichtlich der Förderung und Erfassung der Erklärkompetenz werden die folgenden Forschungsfragen und Hypothesen überprüft.

3.2.1 Zusammenhang zwischen Erklärkompetenz und Lernzuwachs

Neben der Untersuchung, ob das Erstellen einer schriftlichen Erklärung einen Einfluss auf den Lernzuwachs hat, wird untersucht, inwieweit die Qualität der Erklärung einen Einfluss auf den Lernzuwachs hat. Aus diesem Grund wird die folgende Forschungsfrage untersucht.

Forschungsfrage 4:

Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Erklärkompetenz der Studierenden und ihrem Lernzuwachs im Fachwissen?

In bereits bestehenden Studien wird durch die Erstellung von Erklärungen ein positiver Einfluss auf die Lernwirksamkeit belegt. Die Fragen, inwieweit die Qualität der dabei entwickelten Erklärung entscheidend für den Lernzuwachs ist, bleibt jedoch offen. Erste Hinweise auf einen positiven Zusammenhang der Erklärkompetenz und dem Lernzuwachs bietet die Studie nach Ruiz-Primo et al. (2010). Auch weitere Untersuchungen deuten auf eine Abhängigkeit der Lernwirksamkeit von der Qualität der Erklärung hin (Chi et al., 1989; Fiorella & Mayer, 2014; Renkl, 1997; Ryoo & Linn, 2014). An diese anknüpfend wird die folgende Hypothese formuliert.

Hypothese 4:

Studierende mit einer höheren Erklärkompetenz erreichen einen höheren Lernzuwachs im Fachwissen.

3.2.2 Analyse des Kodiermanuals zur Erfassung der Erklärkompetenz

Zur Erfassung der Erklärkompetenz der Studierenden wurde ein Kodiermanual angelehnt an die Qualitätskriterien effektiver Erklärungen entwickelt. Hinsichtlich der Gütekriterien des entwickelten Kodiermanuals werden die folgende Forschungsfrage und die zugehörige Hypothese untersucht.

Forschungsfrage 5:

Ist das entwickelte Kodiermanual geeignet, die Erklärkompetenz der Studierenden objektiv, reliabel und valide zu erfassen?

Hypothese 5:

Das Kodiermanual ist geeignet, die Erklärkompetenz der Studierenden objektiv, reliabel und valide zu erfassen.

4 Methodik und Studiendesign

Die Beantwortung der in Kapitel 3 dargestellten Forschungsfragen basiert auf dem entwickelten Seminarkonzept, welches im Folgenden zusammen mit der Stichprobe im Detail beschrieben und erläutert (Kapitel 4.1) wird. Anschließend werden die verwendeten Instrumente (Kapitel 4.2) sowie das im Rahmen der Studie entwickelte Kodiermanual (Kapitel 4.2.2) vorgestellt.

4.1 Design

Das primäre Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit lag in der Entwicklung eines Seminarkonzepts an der Universität Regensburg zur Förderung des Fachwissens sowie der Erklärkompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie. Das Seminar verlief semesterbegleitend zu den Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie in dem Einführungsmodul „Allgemeine Chemie“ im ersten Semester und richtete sich aus diesem Grund primär an Erstsemesterstudierende.

Zur Förderung des Fachwissens und der Erklärkompetenz generierten die Studierenden im Seminar eigenständig Erklärungen zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie. Die Seminargruppen unterschieden sich dabei in der Art der generierten Erklärungen: Zwei Interventionsgruppen (IG_VS und IG_ES) erstellten videografische Erklärungen, während zwei weitere Gruppen (IG_VF und IG_EF) schriftliche Erklärungen im Anschluss an ein fremderstelltes Lernvideo generierten. Basierend auf dieser Unterscheidung teilt sich die Forschungsarbeit in zwei Abschnitte auf. Der erste Abschnitt der Studie – Hauptstudie 1 – wurde mit vier Interventionsgruppen durchgeführt, in welchen die Studierenden entweder videografische oder schriftliche Erklärungen konzipierten. Die Interventionsgruppen unterschieden sich weiterhin im Aufbau der Erklärung. Jeweils eines der sowohl fremd- als auch selbsterstellten Videos basierte auf einer vorwiegend instruktionalen Erklärung (IG_ES und IG_EF), während die anderen beiden Videos ausgearbeiteten Lösungsbeispielen entsprachen (IG_VS und IG_VF). Die Videos, in welchen Lösungsbeispiele vorgestellt wurden, entsprachen Video-Modeling-Examples. Die vorwiegend instruktionalen Videos entsprachen klassischen Erklärvideos und folgten einer Regel-Beispiel-Struktur. Diese werden im Folgenden als Erklärvideos bezeichnet, um eine Differenzierung zu Video-Modeling-Examples zu ermöglichen.

In Anlehnung an die fremderstellten Lernvideos wurden seitens der Studierenden Erklärungen erstellt, in welchen der Fokus entweder auf dem instruktionalen Aspekt oder auf der Darstellung von Lösungsbeispielen lag. Bei denjenigen Studierenden, die fremderstellte Erklärvideos erhielten, wurde eine schriftliche Erklärung mit einem höheren Anteil an Aufgabenbearbeitung im Sinne von Lösungsbeispielen gefordert. Dementsprechend erstellten die Studierenden, welche fremderstellte Video-Modeling-Examples erhielten, schriftliche Erklärungen mit einem höheren Anteil an instruktionalen Elementen. Diese Vorgehensweise diente dazu, sicherzustellen, dass alle Lernenden ein vergleichbares Maß an instruktionalen oder beispielbasierten Elementen in ihrem Lernprozess enthielten.

Damit ergab sich für Hauptstudie 1 ein 2x2-faktorielles Design mit vier Interventionsgruppen, die sich bezüglich der Art und dem Aufbau der Erklärung unterschieden. Nach Abschluss der Hauptstudie 1 wurden die vorläufigen Ergebnisse im Rahmen der weiteren Vorgehensplanung für Hauptstudie 2 ausgewertet. Aufgrund der Freiwilligkeit in der Teilnahme an den Seminaren und der Anzahl an Seminar- und Studienabbrecher:innen ergab sich eine geringere Stichprobengröße pro Interventionsgruppe, als vorhergesehen, sodass die Datenmenge für eine quantitative Auswertung nicht mehr ausreichte. Als Konsequenz für die weitere Hauptstudie wurden die Seminarteilnehmer:innen in zwei Interventionsgruppen anstelle von vier Gruppen unterteilt, um so die Stichprobengröße in zwei Interventionsgruppen zu erhöhen. In Verbindung mit dem bereits erfassten geringen Lernerfolg der Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES (Tabelle 4-1) wurde für den weiteren Ablauf der Forschungsarbeit entschieden, die Durchführung der Seminare, in welchen die Studierenden videografische Erklärungen konzipierten, nicht fortzusetzen. Hauptstudie 2, der zweite Abschnitt der Studie, wurde anschließend mit den beiden Interventionsgruppen zu den schriftlichen Erklärungen weitergeführt (Tabelle 4-1). Die Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF blieben in Hauptstudie 2 bezüglich des Aufbaus und der Inhalte identisch zur Hauptstudie 1.

Tabelle 4-1: Übersicht zum Studiendesign in Hauptstudie 1 und 2

		Video-Modeling- Example	Erklärvideo
Hauptstudie 1 & 2	Fremderstellt	Gruppe IG_VF	Gruppe IG_EF
Hauptstudie 1	Selbsterstellt	Gruppe IG_VS	Gruppe IG_ES

Verglichen wurden die Interventionsgruppen in Hauptstudie 1 sowie in Hauptstudie 2 mit einer Kontrollgruppe. Diese bestand aus Lehramtsstudierenden, welche ebenfalls die Vorlesungen zur Analytischen und Anorganischen Chemie besuchten, jedoch nicht an den Seminaren teilnahmen. Die Studierende aus der Kontrollgruppe konnten freiwillig und ohne verpflichtende Teilnahme ein Tutorium besuchen. Das Tutorium war nicht Bestandteil dieser Forschungsarbeit und richtete sich an alle Studierende der Vorlesungen der Veranstaltung Allgemeine Chemie und somit an die Studierenden in den Bachelor-Studiengängen Chemie, Biochemie, Mathe mit dem Nebenfach Chemie sowie an Chemie-Lehramtsstudierende. Im wöchentlichen Rhythmus wurden den Studierenden Übungsblätter mit Aufgaben zu den Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie bereitgestellt. Sie konnten diese in den Tutorien eigenständig in Begleitung von Tutoren bearbeiten, wobei die Tutoren lediglich zur Hilfestellung bei Problemen und Fragen bereitstanden und nicht zur instruktionalen Vermittlung der Inhalte. Die Übungsblätter standen auch denjenigen Studierenden aus der Kontrollgruppe zur Verfügung, welche nicht an den Tutorien teilnahmen. Am Ende jeder Woche erhielten alle Studierenden zusätzlich entsprechende Lösungsblätter zu den Aufgaben. Die Kontrollgruppe generierte folglich keine Erklärungen zu den Themenbereichen im Rahmen der Forschungsarbeit, sondern bearbeitete parallel die Übungsaufgaben. Weiterhin erhielten sie keinen Input in Form von Lernvideos. Nachfolgend werden der Seminaraufbau der vorliegenden Studie und die zugehörigen Inhalte beschrieben.

4.1.1 Seminarkonzept

Die Vorlesungen im Modul „Allgemeine Chemie“ sind für das erste Semester im Chemiestudium vorgesehen und finden jährlich im Wintersemester statt. Das Modul „Allgemeine Chemie“ ist aus vier Vorlesungen aufgebaut, welche das gesamte Semester über andauern und in einer gemeinsamen Abschlussprüfung enden. Die Vorlesungen Analytische, Anorganische und Physikalische Chemie machen jeweils 30 % der Prüfung aus. Die weiteren 10 % werden aus der Vorlesung Experimentalchemie zusammengesetzt. Zur Unterstützung der Studierenden in den Vorlesungsbereichen Analytische und Anorganische Chemie wurde das Seminarkonzept in dieser Studie entwickelt. In Übereinstimmung mit den Vorlesungen

fand diese Veranstaltung jeweils parallel im Wintersemester statt. Im Wintersemester 2022/23 wurde die Hauptstudie 1 durchgeführt und im Wintersemester 2023/24 die Hauptstudie 2.

Das Seminar sowie die Tutorien für die Kontrollgruppe waren fakultative Veranstaltungen, sodass eine Teilnahme der Studierenden nicht verpflichtend war. Bei Teilnahme an den Seminaren erhielten die Studierenden jedoch zwei Leistungspunkte für den freien Wahlbereich, um zu einer Abgabe der Erklärungen zu motivieren. Es wurden sowohl in Hauptstudie 1 als auch in Hauptstudie 2 vier Seminare angeboten, von welchen die Studierenden eines besuchen durften. Die Studierenden wurden einer Gruppe zugewiesen, die ihren zeitlichen Präferenzen entsprach, wobei darauf geachtet wurde, ähnliche Gruppengrößen zu erreichen. Wurden sie einer Interventionsgruppe zugewiesen, war kein Wechsel gestattet, um sicherzustellen, dass sie durchgehend derselben Interventionsbedingung ausgesetzt waren und keine Inhalte der anderen Gruppe erhielten. Das Seminar fand für die Studierenden einmal wöchentlich für jeweils 60 Minuten statt. Die Dauer entsprach der des Tutoriums, um Time-on-Task zwischen den Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe vergleichbar zu halten. Das Seminar startete jeweils in der ersten Semesterwoche und verlief bis zur Abschlussprüfung am Semesterende. Die Struktur der Seminarinhalte und die entsprechende Dauer sind in Tabelle 4-2 aufgelistet. Zwischen den Gruppen variierte die Intervention in der Einführungsphase II und der Selbstlernphase, was dem Treatment der vorliegenden Studie entspricht (grün umrandet). In den übrigen Phasen erhielten alle Gruppen denselben Inhalt.

Tabelle 4-2: Strukturierung des Seminarkonzepts in Hauptstudie 1

Dauer	Phase	Inhalte
1. Woche	Einführungsphase I	Kennenlernen
2.-6. Woche	Übungsphase I	Übungsblätter
7. Woche	Einführungsphase II	Lernstrategien
8.-13. Woche	Selbstlernphase	Erstellen schriftlicher oder video-graphischer Erklärungen
14. Woche	Übungsphase II	Fragestunde & Übungsklausur

Im Folgenden erfolgt eine detaillierte Darstellung der einzelnen Phasen und Inhalte der Hauptstudie 1 für alle Interventionsgruppen.

Seminarkonzept in Hauptstudie 1

Einführungsphase I

Das Hauptziel der Einführungsphase I lag in der finalen Einteilung der Studierenden in die Interventionsgruppen. Dabei wurden Studierende in Abhängigkeit von ihren zeitlichen Präferenzen in den Gruppen umgeordnet, um eine ähnliche Größe zwischen den Gruppen zu ermöglichen. Dies erfolgte einerseits aus methodischen Gründen, um die Stichprobe auf die Interventionsgruppen gleichmäßig zu verteilen und ein balanciertes Design zu ermöglichen. Andererseits wurden große Gruppen in der Anzahl der Teilnehmer:innen reduziert, um in den Übungsphasen auf die Fragen aller Studierenden eingehen zu können.

Des Weiteren wurde die erste Veranstaltung dafür genutzt, um organisatorische Aspekte zu klären. Dabei wurde das Seminarkonzept mit der zeitlichen Einteilung der Inhalte vorgestellt. Es wurde auf den Beginn der Intervention im Rahmen der Studie ab der 7. Woche hingewiesen, wobei der Unterschied zwischen der Übungsphase und der Selbstlernphase dargelegt wurde. Abgeschlossen wurde die Einführungsphase I mit der Besprechung der Datenschutzerklärung. Um die Daten, die während der Studie pseudonymisiert erhoben wurden, zur Auswertung zu nutzen, wurde von allen Studienteilnehmenden eine unterschriebene Einverständniserklärung eingeholt.

Übungsphase I

Die erste Übungsphase diente der Wiederholung und Festigung der Grundlagen und weiterführenden Inhalte, welche zu Beginn der Vorlesungen behandelt werden. Die Veranstaltung erstreckte sich über einen Zeitraum von fünf Seminarterminen. Dazu wurde in jeder Woche ein Übungsblatt bearbeitet, welches passende Aufgaben zu den Vorlesungsinhalten der analytischen und anorganischen Chemie beinhaltete. Die Auswahl der Schwerpunkte in den Übungsblättern erfolgte in Übereinstimmung mit den Inhalten der parallel stattfindenden Vorlesungen. In Tabelle 4-3 sind die Schwerpunkte der Übungsblätter gemäß ihrer Zuordnung zum analytischen beziehungsweise anorganischen Bereich zusammengefasst.

Tabelle 4-3: Inhalte der Übungsphase I

Reihenfolge	Schwerpunkte Analytik	Schwerpunkte Anorganik
1. Übungsblatt	Stöchiometrie in Reaktionsgleichungen	Valenzstrichformeln, Verhältnisformeln
2. Übungsblatt	Chemisches Rechnen	Massendefekt
3. Übungsblatt	Chemisches Rechnen	Spektrum des Wasserstoffatoms
4. Übungsblatt	Elektrolysereaktionen	Quantenzahlen
5. Übungsblatt	Elektrolysereaktionen	Quantenzahlen, Elektronenkonfiguration

Die Inhalte der Übungsblätter der Interventionsgruppen waren identisch zueinander. Zudem wurden diejenigen Aufgaben ausgewählt, welche auch von der Kontrollgruppe im Rahmen des Tutoriums bearbeitet wurden. Die Studierenden erhielten zu Beginn jeder Seminarstunde das entsprechende Aufgabenblatt (Abbildung 4-1). Anschließend hatten sie die Möglichkeit, sich selbstständig mit den Aufgaben auseinanderzusetzen, indem sie die Übungsblätter in Einzel- oder Partnerarbeit bearbeiteten.



Universität Regensburg

Übungsblatt Erweiterungsseminar
Analytische & Anorganische Chemie

Übungsblatt 5: Elektronenkonfiguration / Elektrolysereaktionen

Aufgabe 1

1.1 Bestimme die Elektronenkonfigurationen folgender Atome/Ionen in kompakter **und** vollständiger Schreibweise:

- a) Selen (0)
- b) Zinn (+II)
- c) Stickstoff (0)

1.2 Berechne die effektive Kernladung, die auf die 2p-Elektronen im **Stickstoffatom** wirkt (Slater-Regeln!).

Abbildung 4-1: Ausschnitt aus einem Übungsblatt in Übungsphase I

Zur Differenzierung zwischen den Studierenden in den heterogenen Gruppen wurden die Übungsblätter um zusätzliche Teilaufgaben ergänzt. Der Schwierigkeitsgrad der freiwillig zu bearbeitenden Aufgaben entsprach dem der Pflichtaufgaben. Sie dienten somit nicht der Vertiefung der Vorlesungsinhalte, sondern der weiteren Festigung. Dadurch wurde ermöglicht, dass alle Studierenden während der Seminarzeit die Aufgaben zu den Schwerpunkten bearbeiten konnten, während schnellere Seminarteilnehmer:innen die Inhalte weiter festigen konnten.

Bei Fragen konnten sich die Studierenden an die Kursleiterin wenden. Die Aufgabe der Kursleiterin bestand darin, die Studierenden bei Schwierigkeiten in der Bearbeitung der Aufgaben zu unterstützen. Damit war die Gestaltung der Übungsphase I vergleichbar mit den Tutorien der Kontrollgruppe. Analog zur Kontrollgruppe wurden den Studierenden nach der jeweiligen Seminarsitzung Lösungsblätter zur Verfügung gestellt. Damit wurde gewährleistet, dass alle Studierenden über die korrekten Ergebnisse zu den Aufgaben verfügten.

Einführungsphase II

Das Ziel der Einführungsphase II bestand im Aufzeigen der Relevanz der nachfolgenden Interventionsphase sowie der Vermittlung von Strategien zum Einsatz während des Treatments. In Bezug auf Theorien des selbstregulierten Lernens wurde ihre Bedeutsamkeit für das Verständnis und folglich für den Lernerfolg thematisiert (Messner et al., 2009; M. Richardson et al., 2012). Der nachfolgende Lernprozess erfolgte vorrangig durch das Erstellen von Erklärungen mithilfe der Unterstützung von Lernvideos. Der daraus resultierende Ablauf des Treatments wurde den Studierenden in der Einführungsphase II geschildert.

In dieser Phase erfolgte erstmals eine inhaltliche Differenzierung zwischen den Interventionsgruppen IG_VF, IG_EF sowie IG_VS und IG_ES. Nachfolgend werden zunächst die Inhalte der Gruppen dargestellt, die im Anschluss an ein fremderstelltes Lernvideo schriftliche Erklärungen formulierten (IG_VF und IG_EF), bevor anschließend die entsprechenden Inhalte für IG_VS und IG_ES beschrieben werden.

Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF

Um die Studierenden aus den Interventionsgruppen IG_VF sowie IG_EF mit den nachfolgend eingesetzten Videos bekannt zu machen, wurde im Sinne einer Eingewöhnungsphase ein Beispielvideo in der Art der folgenden Videos gezeigt. Auf-

grund der beschränkten Interventionsdauer und dem Ziel, den Studierenden möglichst viele Lerngelegenheiten in dem Seminar zu bieten, wurde die Eingewöhnungsphase auf ein Lernvideo im Rahmen der Einführungsphase II reduziert. Entsprechend den Videos für die Interventionsgruppen entsprach das Beispielvideo in der Interventionsgruppe IG_VF einem Video-Modeling-Example und in der Interventionsgruppe IG_EF einem Erklärvideo. Beide Videos thematisieren die Elektronenkonfiguration, welches ein Thema in der Vorlesung der Anorganischen Chemie ist und den Studierenden bereits bekannt war. Der Einsatz des Beispielvideos zielte darauf ab, die kognitive Belastung zu reduzieren, sodass die Videos im Rahmen der Intervention effektiver genutzt werden konnten. Dies war möglich, da die Studierenden den Umgang mit den Videos bereits zuvor einmal geübt hatten. Im Zusammenhang mit dem Aufzeigen des Beispielvideos erhielten die Studierenden Hinweise zum Umgang mit Lernvideos. Diese dienten dazu, die Studierenden bereits während des Anschauens des Videos zu einer aktiven Arbeitsweise mit dem Lernmedium anzuleiten. Ein aktiver Umgang mit Videos während des Lernens kann sich positiv auf die Lernleistung auswirken (Brame, 2016). Da das Lernen mit Videos eine selbstregulative Lernaktivität darstellt, ist es für die Lernenden notwendig, den eigenen Lernprozess zu überwachen, Lernschwierigkeiten zu identifizieren sowie sich mit diesen zu befassen (Brame, 2016; Schacter & Szpunar, 2015). Die Aufmerksamkeit der Lernenden muss dabei auf das Video gerichtet sein (Schacter & Szpunar, 2015). Fehlende Aufmerksamkeit für die vermittelnden Inhalte kann ähnlich wie im Präsenzunterricht Auswirkungen auf die Behaltensleistung haben (Schacter & Szpunar, 2015). Chi und Wylie (2014) weisen jedoch darauf hin, dass die gerichtete Aufmerksamkeit auf ein Video, ohne dass eine aktive Handlung vollzogen wird, einer passiven Interaktion entspricht. Ein aktiver Umgang mit Lernvideos kann durch motorischer Aktivität in Form von Interaktion mit dem Video erfolgen (Chi et al., 2008; Chi & Wylie, 2014). Dazu zählen unter anderem das Pausieren oder das Zurückspulen eines Videos (Chi et al., 2008). Chi und Wylie (2014) differenzieren zwischen aktiven und konstruktiven Aktivitäten mit einem Lernmedium. Konstruktive Aktivitäten beinhalten das Generieren neuer Ideen, welche über die dargebotenen Informationen hinausgehen. Zu konstruktiven Aktivitäten gehören beispielsweise das Notieren von Informationen in eigenen Worten, die Reflexion des eigenen Verständnisses als Bestandteil des selbstregulierten Lernens oder das Generieren von Selbsterklärungen (Chi & Wylie, 2014). Eine Möglichkeit, Lernende zu einem aktiven und konstruktiven Umgang mit Videos während des Lernprozesses anzuregen, stellen sogenannte Prompts dar

(McClellan et al., 2023). Prompts können durch Hinweise oder Instruktionen dargeboten werden und kognitive oder metakognitive Reize widerspiegeln (Bannert, 2009; McClellan et al., 2023). Moos und Bonde (2016) untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen interaktivem Umgang mit Videos zu selbstregulativen Prozessen und dem Einfluss auf den Lernzuwachs. Dabei wurden zwei Interventionsgruppen miteinander verglichen, wobei eine der Gruppen Prompts zum selbstregulativen Lernen erhielt. Die Ergebnisse der Untersuchung nach Moos und Bonde (2016) zeigt, dass das Maß an selbstregulativem Überwachen des eigenen Verständnisses signifikant positiv mit dem interaktiven Umgang mit dem Video, insbesondere mit dem Pausieren und Neustarten, korreliert. Lernende, die weniger Interaktion mit dem Video zeigten, erzielten zudem einen geringeren Lernzuwachs.

Um die Studierenden im Rahmen der vorliegenden Studie sowohl zu einem aktiven als auch konstruktiven Umgang mit den Videos zu aktivieren, wurde ihnen in der Einführungsphase II Prompts in Form von Instruktionen dargeboten. Diese wurden dabei in drei Phasen unterteilt: Prompts vor, während sowie nach dem Ansehen des Videos.

Die Prompts vor dem Ansehen des Videos dienten zur Vorwissensaktivierung.

- *Lies dir die Überschrift durch.*
- *Überleg dir, was du schon zu dem Thema weißt.*

Während des Ansehens des Videos wurde vorrangig die motorische Aktivität der Studierenden angeregt.

- *Pausiere das Video bei Bedarf.*
- *Wiederhole Passagen, die du nicht verstehst.*
- *Wiederhole das ganze Video, wenn nötig.*
- *Notiere dir die Informationen, die dir wichtig erscheinen.*

Die konstruktive Aktivierung erfolgte primär nach dem Abschluss des Videos.

- *Erstelle eine schriftliche Erklärung, um die Inhalte zu wiederholen.*
- *Löse Übungsaufgaben, um die Inhalte zu vertiefen.*

Die Prompts wurden während der Einführungsphase II unter Bezugnahme auf das Beispielvideo eingeführt und erläutert. Im Verlauf der Intervention wurde auf der Moodle-Plattform vor jedem Video erneut auf die Prompts hingewiesen.

Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES

Der Einsatz der beiden Beispielvideos in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES diente als Hilfestellung für die Studierenden im Erstellen der Videos. Interventionsgruppe IG_VS erhielt entsprechend der folgenden Intervention das Video-Modeling-Example, während Interventionsgruppe IG_ES das Erklärvideo erhielt. Da beide Gruppen im Rahmen des Treatments die Videos selbst erstellten, wurde auf die Einführung von Prompts zur Förderung des Lernens mit Videos verzichtet. Um die Studierenden jedoch im Erstellen von Lernvideos bezüglich der inhaltlichen Gestaltung zu fördern, wurden Elemente zur sprachlichen sowie visuellen Gestaltung erörtert (Kapitel 11.1). Die Elemente zur sprachlichen Gestaltung differierten zwischen den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES, um die Gestaltung zwischen einem Video-Modeling-Example und einem Erklärvideo zu betonen.

Die Kriterien zur visuellen Gestaltung der Videos basieren auf den von Mayer (2009) empfohlenen Gestaltungsprinzipien multimedialer Lernumgebungen gemäß der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Kapitel 11.1). Die im Rahmen der Einführungsphase II vermittelten Kriterien stimmten in der Treatmentgruppe IG_VS und IG_ES überein. Das Gestaltungskriterium der Kombination von Text und Bild wurde vermittelt. Es sollte jedoch auf verzierende Bilder, die nicht zum Lernprozess beitragen und somit entbehrlich sind, verzichtet werden (Kohärenzprinzip). Wichtige Informationen sollten visuell hervorgehoben werden (Signalierungsprinzip). Zwei weitere Kriterien entsprachen dem Kontiguitätsprinzips und Modalitätsprinzips, wonach bildliche Elemente erklärt werden sollten, während sie gezeigt wurden. Zusätzlich mussten visuelle Elemente inhaltlich den auditiven Elementen entsprechen. Ein weiteres visuelles Gestaltungskriterium war das Redundanzprinzip, welches besagt, dass zum gesprochenen Text kein geschriebener Text nötig ist (Mayer, 2009). Das Personalisationsprinzip nach Mayer (2009), wonach die Lernenden direkt angesprochen werden sollen, wurde in der IG_ES als sprachliches Gestaltungskriterium aufgenommen. In IG_VS wurde die Formulierung aus der Ich-Perspektive betont, um die schrittweise Erklärung im Rahmen eines Video-Modeling-Examples hervorzuheben. Aufgrund der Vorgabe der Inhalte und ihrer Gliederung in den Videos war es für die Studierenden nicht erforderlich, das Vortrainingsprinzip sowie das Segmentierungsprinzip zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden diese nicht in die Gestaltungskriterien mit aufgenommen. Da die verwendete Stimme und das Sprecherbild die Qualität der inhaltlichen Erklärung nur geringfügig beeinflussen und vielmehr auf den Lernerfolg

der Adressat:innen abzielen, wurden diese beiden Gestaltungsprinzipien ebenfalls ausgeschlossen.

Alle Interventionsgruppen

Neben der Förderung des Fachwissens lag das primäre Ziel im Erstellen der schriftlichen und videografischen Erklärung in der Förderung der Erklärkompetenz, sodass in allen vier Interventionsgruppen zusätzlich die Kriterien zur Erstellung von Erklärungen geschult wurden. Da die Erklärqualität ein Kernelement der vorliegenden Studie darstellt, werden im Folgenden die Kriterien der Einführungsphase II kurz erläutert. Zur Förderung der Erklärkompetenz wurden Kriterien zur Strukturiertheit der Erklärung, zu sprachlichen und fachlichen Aspekten sowie zur Adressatenorientierung vermittelt:

Tabelle 4-4: Kriterien zum Erstellen von Erklärungen in Einführungsphase II

Kategorie	Kriterien
Strukturiertheit	<ul style="list-style-type: none"> • Problemstellung oder Ziele thematisieren • Ziele der Erklärung erarbeiten • Roten Faden berücksichtigen • Schrittweiser Aufbau • Einzelheiten vermeiden • Zusammenfassung am Ende der Erklärung
Sprachliche und fachliche Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung passender Fachbegriffe • Fachbegriffe erklären • Verwendung passender Konzepte, Regeln und Prinzipien • Konzepte, Regeln und Prinzipien erklären • Fachliche Korrektheit berücksichtigen
Adressatenorientierung	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwissen der Adressat:innen berücksichtigen • Neues Wissen mit Vorwissen vernetzen

Die in Tabelle 4-4 dargestellten Kriterien zum Erstellen von Erklärungen wurden unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.2.2 erläuterten Qualitätskriterien instruktionaler Erklärungen formuliert. Zum Veranschaulichen der Kriterien diente in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES das Beispielvideo, während in den Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF ein Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung gewählt wurde. Hierbei handelte es sich um einen geringfügig umgeschriebenen

Ausschnitt des Videoskripts des entsprechenden Beispielsvideos, um die Nähe der Thematik beizubehalten. Anhand der beispielhaften Erklärung wurden die Erklärungskriterien verdeutlicht. Diese dienten zudem als Grundlage zur Erstellung des Kodiermanuals, anhand dessen die Erklärqualität der schriftlichen Erklärung gemessen wird (Kapitel 4.2.2).

Wie zuvor angemerkt, zielte die Erstellung einer Erklärung auf die Steigerung des Lernzuwachses sowie auf die Förderung der Erklärkompetenz ab. Diese Ziele wurden allen Studierenden der Interventionsgruppen kommuniziert, um die Relevanz in der Konstruktion der Erklärungen aufzuzeigen. P. D. Klein (2004) empfiehlt im Zusammenhang mit Lernen durch schriftliches Erklären das explizite Darlegen der Intention der Lernförderung. Anderenfalls könnte die Vermutung bestärkt werden, das Verschriftlichen der Erklärung diene der Verbesserung der Kommunikationskompetenz oder der Wissenserfassung. Um diesem entgegenzuwirken, dient die Einführungsphase II zusätzlich dem Zweck, auf die Relevanz des Treatments aufmerksam zu machen. Nach Ende der Einführungsphase II startete in jeder Gruppe die Selbstlernphase.

Selbstlernphase

Das zentrale Element der Selbstlernphase in den Interventionsgruppen stellt die Erstellung einer Erklärung dar, welche als Mittel zur Förderung der Erklärkompetenz sowie des Fachwissens dient. Das Treatment zielt darauf ab, den Lernzuwachs im Vergleich zur Kontrollgruppe stärker zu erhöhen. Dazu wurde das Treatment dreimal nacheinander zu jeweils einem neuen Thema aus den Vorlesungen der Analytischen oder Anorganischen Chemie durchgeführt. Jedes Treatment dauerte zwei Seminartermine an und erstreckte sich somit über einen Zeitraum von jeweils zwei Wochen. Die Studierenden erstellten im Rahmen der Intervention jeweils eine Erklärung zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie. Die im Rahmen der Intervention erarbeiteten Themen wurden in den Seminaren parallel oder verzögert zu den Vorlesungen bearbeitet, um sicherzustellen, dass die Studierenden die Inhalte in den Vorlesungen bereits kennengelernt hatten. Dies liegt darin begründet, dass das Ziel der Intervention nicht in einer eigenständigen Aufbereitung der Themen durch die Studierenden lag. Das Ziel bestand in der Vertiefung und dem tiefgreifenden Verständnis der Vorlesungsinhalte durch das Konzipieren einer Erklärung.

Im Folgenden werden erneut zunächst die vergleichbaren Inhalte der Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF beschrieben, bevor die Inhalte der Gruppen IG_VS und IG_ES erläutert werden.

Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF

Die Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF generierten dazu schriftliche Erklärungen im Anschluss an ein fremderstelltes Lernvideo. Interventionsgruppe IG_VF erhielt zu jedem Thema jeweils ein Video-Modeling-Example, während der Interventionsgruppe IG_EF jeweils ein Erklärvideo zur Verfügung gestellt wurden. Die Videos unterschieden sich in der Gestaltung und dem Aufbau der Erklärung. Zudem fokussierten die Video-Modeling-Examples die Vorgehensweise im Bearbeiten von Übungsaufgaben und den zugehörigen Lösungswegen. Die dazugehörigen theoretischen Aspekte wurden zur Erklärung der Lösungsschritte herangezogen. In den Erklärvideos standen dahingegen die entsprechenden theoretischen Inhalte und die dazugehörigen Konzepte im Mittelpunkt. Verdeutlicht wurden diese anhand von Beispielen. Beide Videoarten dienten dazu, allen Studierenden in den Interventionsgruppen die gleiche Grundlage zum Erstellen der schriftlichen Erklärungen zu bieten. Da der Besuch der Vorlesungen, in welchen die grundlegenden Inhalte durch die Dozierenden vermittelt werden, nicht obligatorisch ist, wird durch die fremderstellten Lernvideos eine ähnliche Wissensbasis gewährleistet. Zusätzlich dienen die instruktionalen Erklärungen in den Videos dazu, falsche Selbsterklärungen zu vermeiden sowie Verstehensschwierigkeiten zu minimieren (Renkl, 2001). Ohne externe Unterstützung im Prozess der Konstruktion einer Erklärung können bestehende Defizite nur schwer behoben werden. Renkl (2001) sowie Berthold und Renkl (2009) empfehlen aus diesem Grund, instruktionale Erklärungen zu Unterstützungszwecken einzusetzen. Die Lernvideos dienten neben der Prävention von Verstehensschwierigkeiten und fehlerhaften Erklärungen auch der Vermeidung von Verständnisillusionen, die durch das Erstellen einer eigenen Erklärung entstehen können (Renkl, 2001). Die Videos sollten auch das fachliche Verständnis und das Erstellen der schriftlichen Erklärung fördern. Letztere erstellten die Studierenden im Anschluss an das Lernvideo. Dazu erhielten sie entsprechende Aufgaben, welche sie im Rahmen der schriftlichen Ausarbeitung beantworten und erklären mussten.

Erkläre anschließend die Regeln, welche du befolgen musst, um die Molekülgestalt nach der VSEPR-Theorie zu bestimmen. Verdeutliche die Regeln anhand von folgenden Aufgaben:

- ✓ **Regel 1:** Gib die Molekülstruktur von CH_2O nach der VSEPR-Theorie an.
- ✓ **Regel 2:** Vergleiche die Molekülstrukturen und Pseudostrukturen von SO_2 und CO_2 .
- ✓ **Regel 3:** Ordne die folgenden Moleküle, die jeweils eine trigonal-pyramidale Molekülstruktur besitzen, nach aufsteigendem Bindungswinkel: NH_3 , NF_3 , NCl_3 .
- ✓ **Regel 4:** Ordne die folgenden beiden Bindungswinkel nach aufsteigender Größe:

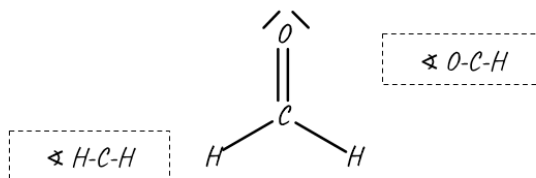


Abbildung 4-2: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zum Thema VSEPR-Theorie zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung in Interventionsgruppen IG_VF und IG_ES

Der Fokus in den Aufgaben lag bei der Interventionsgruppe IG_VF darauf, die theoretischen Aspekte des Themas unter Einbezug entsprechender Übungsaufgaben und Beispiele zu erklären. Die Aufgabenstellungen der Interventionsgruppe IG_EF zielten darauf ab, die theoretischen Aspekte auf das Bearbeiten von Übungsaufgaben anzuwenden. Damit standen die schriftlichen Erklärungen in einem Gegensatz zu den dargebotenen Lernvideos. Auf diese Weise konnten die Studierenden dieselben Inhalte aus unterschiedlichen Perspektiven einüben und sich sowohl mit den theoretischen Grundlagen als auch mit den Übungsaufgaben auseinandersetzen. Zudem wurde durch diese Vorgehensweise gewährleistet, dass die Studierenden im Rahmen der schriftlichen Erklärung neue Inhalte erarbeiteten. Die Inhalte der Aufgaben zur Erstellung der schriftlichen Erklärung waren zwischen beiden Interventionsgruppen möglichst identisch. In Abbildung 4-2 sind die Aufgaben zur Erstellung der schriftlichen Erklärung zum Thema VSEPR-Theorie in Interventionsgruppe IG_VF dargestellt. Der Fokus lag hierbei auf der Wiederholung der Konzepte und Prinzipien der VSEPR-Theorie unter Einbezug entsprechender Beispiele.

Zum Vergleich sind in Abbildung 4-3 die Aufgaben zur VSEPR-Theorie aus der Interventionsgruppe IG_EF abgebildet. Hier sollten die Studierenden im Rahmen

der schriftlichen Erklärung die Übungsaufgaben bearbeiten, indem sie die dazugehörigen Konzepte und Prinzipien anwenden und diese erklären. Die zu bearbeitenden Aufgaben waren mit denen der Interventionsgruppe IG_VF vergleichbar:

1. Nenne aus den folgenden Verbindungen diejenigen, die **nicht** gebildet werden können und begründe deine Antwort:



Erkläre bei den übrigen Verbindungen wie du vorgehst, um die **Molekülstruktur** und **Pseudostruktur** zu bestimmen. Beschreibe auch die **Regeln**, die du dabei beachtest.

2. Ordne die folgenden Moleküle, die jeweils eine trigonal-pyramidale Struktur besitzen, nach aufsteigendem **Bindungswinkel** und begründe deine Antwort: NH_3 , NF_3 , NCl_3
3. Weise die folgenden **Bindungswinkel** richtig zu und begründe deine Antwort.

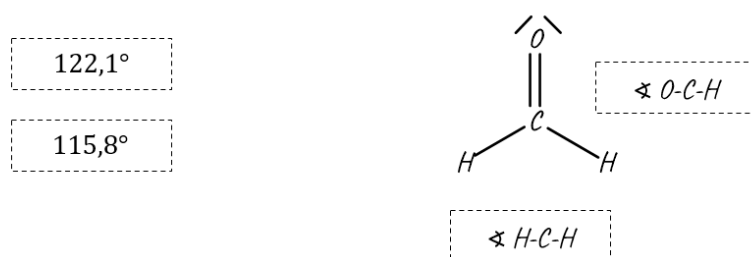


Abbildung 4-3: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zum Thema VSEPR-Theorie zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung in Interventionsgruppen IG_EF und IG_VS

Lediglich in Bezug auf das Themengebiet der Säure-Base-Chemie wiesen die Aufgabenstellungen der beiden Interventionsgruppen eine deutliche Differenzierung auf (Kapitel 11.1). Während die eine Gruppe Rechenaufgaben erhielt, bei denen der Fokus auf mathematischen Aspekten lag, beinhaltete die Aufgabenstellung der anderen Gruppe Erklärungs- und Verständnisaufgaben zu Konzepten der Säure-Base-Chemie. Diese Differenzierung war notwendig, da eine Vereinheitlichung der mathematischen und konzeptuellen Aufgabenstellungen aufgrund ihrer unterschiedlichen Anforderungen nicht sinnvoll zu realisieren war.

Ansonsten waren die Rahmenbedingungen in beiden Interventionsgruppen vergleichbar. Jede Intervention unterteilte sich in zwei Phasen: In der ersten Phase erhielten die Studierenden das Lernvideo und erstellten im Anschluss daran die schriftliche Erklärung (Abbildung 4-4).

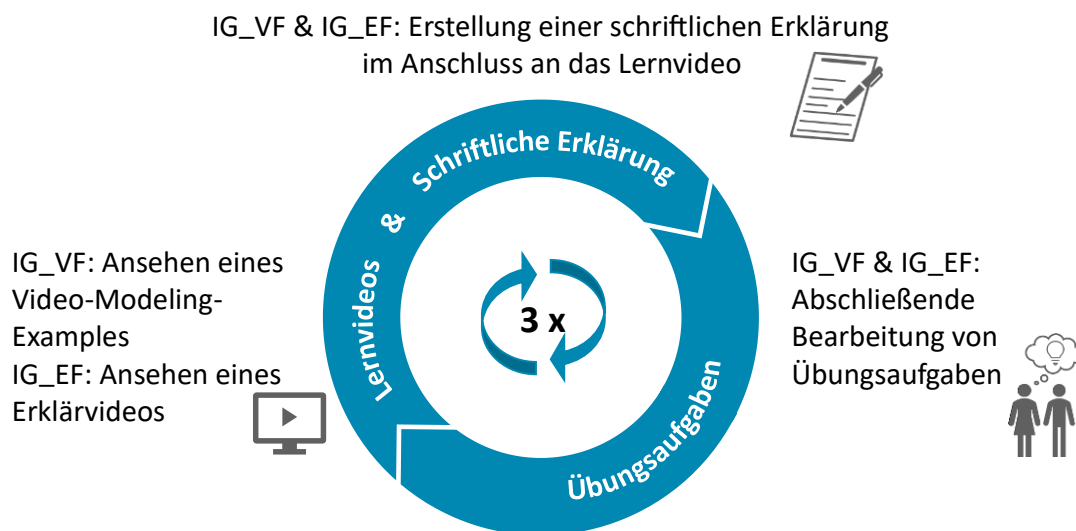


Abbildung 4-4: Ablauf des Treatments in den Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF

Den Studierenden wurden entsprechend einer Seminarstunde 60 Minuten eingeräumt, um sich mit dem Video auseinanderzusetzen. Um den Studierenden das individuelle Tempo zum Ansehen des Videos und dessen Wiederholbarkeit zu ermöglichen, erfolgte diese Phase nicht in Präsenz. Die Studierenden hatten die Möglichkeit, das Video von zuhause aus anzusehen und anschließend die schriftliche Ausarbeitung zu erstellen. Es wurde von jedem bzw. jeder Studierenden eine individuelle Erklärung erstellt. Für die Abgabe der Ausarbeitung hatten sie eine Woche Zeit. Die zweite Phase erfolgte wiederum in Präsenz. Während der Präsenzphase erarbeiteten die Studierenden identisch zur Übungsphase I Übungsaufgaben. Diese enthielten Aufgaben, die dem Thema der Intervention entsprachen. Zusätzlich wurden auch Aufgaben zu weiteren Themen der Vorlesungen integriert, um den Studierenden Übungsgelegenheiten für weitere prüfungsrelevante Inhalte zu bieten. Die Übungsaufgaben waren zu den Aufgaben, welche die Kontrollgruppe in den Tutorien erhielt, identisch. Um die Vergleichbarkeit der Time-on-Task weiterhin zu gewährleisten, wurde die Menge der zu bearbeitenden Übungsaufgaben in den Interventionsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert. Die Studierenden erhielten nach dem selbstständigen Bearbeiten der Übungsaufgaben die Lösungen zu den jeweiligen Aufgaben. Wie Abbildung 4-4 zu entnehmen ist, durchliefen die Studierenden nach Abschluss der Bearbeitung der Übungsaufgaben erneut das Treatment. Das Treatment erfolgte insgesamt dreimal jeweils zu den Themen Redoxchemie, VSEPR-Theorie und Säure-Base-Chemie und dauert im Gesamten sechs Wochen.

Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES

Die Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES erstellten zu ebendiesen Themen selbstständig videografische Erklärungen. In der Interventionsgruppe IG_VS entsprach die Art der videografischen Erklärung einem Video-Modeling-Example und in der Interventionsgruppe IG_ES erstellten die Studierenden Erklärvideos. In Analogie zu den fremderstellten Videos in der Interventionsgruppe IG_VF, sollte der Fokus der Video-Modeling-Examples auf der Lösung konkreter Beispielaufgaben der entsprechenden Thematik liegen. Hierzu sollten die Studierenden auch die dahinterliegenden Konzepte erklären. Die Erklärvideos der Interventionsgruppe IG_ES sollten gemäß den fremderstellten Videos der Interventionsgruppe IG_EF die theoretischen Aspekte hervorheben. Nach der Regel-Beispiel-Strategie sollten diese anhand von anknüpfenden Beispielen verdeutlicht werden. Für das Erstellen der Videos erhielten die Studierenden Aufgaben, welche sie im Rahmen der Videos beantworten sollten. Der Fokus der Aufgaben lag entsprechend der zu entwickelnden Videos entweder auf dem Lösen von Übungsaufgaben oder auf theoretischen Aspekten. Die Aufgaben, welche Interventionsgruppe IG_VS zum Erstellen der Erklärung bearbeitete, entsprachen den Aufgaben der Interventionsgruppe IG_EF (Abbildung 4-3). Der Schwerpunkt der Aufgaben lag auf der Anwendung theoretischer Inhalte auf konkrete Übungsaufgaben, sodass Lernprodukte entstanden, die überwiegend beispielbasierte Inhalte in Form von Video-Modeling-Examples (IG_VS) aufwiesen. Die Interventionsgruppe IG_ES erhielt diejenigen Aufgaben, welche Interventionsgruppe IG_VF im Rahmen der schriftlichen Erklärung bearbeitete (Abbildung 4-2). Da bei diesen Aufgaben die theoretischen Inhalte im Vordergrund standen, resultierten Erklärvideos mit überwiegend instruktionalem Charakter. Die im Rahmen der Erklärungen zu bearbeitenden Aufgaben dienten dazu, vergleichbare Erklärungen innerhalb der Interventionsgruppen generieren zu lassen. Dadurch wird eine Gegenüberstellung der Erklärqualität der Erklärungen zur Beantwortung der entsprechenden Forschungsfragen möglich. Darüber hinaus boten die Aufgaben eine Unterstützung bei der Strukturierung der Erklärungen und der zu behandelnden Inhalte. Zur ergänzenden Unterstützung der Studierenden in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES verlief die Videoerstellung kollaborativ. Das Erstellen eines Videos stellt neben dem Erstellen der Erklärung eine zusätzliche kognitive Belastung für die Lernenden dar. Die Studie nach F. Kirschner et al. (2009) zeigt, dass kollaboratives Lernen effektiver ist als individuelles Lernen, wenn die Lernaufgabe die kognitiven Kapazitäten überschreitet. Kollaboratives Lernen kann dann zu tiefgreifenderem Verständnis führen. Die Begründung basiert auf der Cognitive Load Theory. Durch

die Zusammenarbeit in einer Gruppe wird die Nutzung mehrerer kognitiver Kapazitäten ermöglicht und somit die kognitive Belastung, die durch die Lernaufgabe entsteht, auf die einzelnen Personen verteilt (F. Kirschner et al., 2009). F. Kirschner et al. (2011) erweitern die Argumentation durch die wahrgenommene kognitive Belastung der Gruppe. Die erwartete mentale Anstrengung bei der Bearbeitung komplexer Lernaufgaben ist in kollaborativer Zusammenarbeit geringer als in Einzelarbeit. Als Konsequenz erfolgte das Erstellen der Videos in Gruppenarbeit. Diese bestanden meist aus zwei oder drei Personen, die sich eingeständig zusammengefunden haben.

Das Treatment in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES unterteilte sich ebenfalls in zwei Phasen, die jeweils einer Seminarstunde entsprechen. Die erste Phase diente der Bearbeitung der Übungsaufgaben, welche die Studierenden im Rahmen der Videos erklären sollten. Damit einhergehend erhielten die Studierenden die Vorgabe, die Lösung der Aufgaben in ein Videoskript einzubetten. Dies erfolgte im Rahmen einer Seminarstunde in Präsenz. Die zweite Phase diente der eigentlichen Aufnahme des Lernvideos und fand in den Gruppen zu individuell vereinbarten Zeitpunkten statt. Aufgrund des zeitlich höheren Anspruchs des Erstellens einer videografischen Erklärung im Vergleich zu einer schriftlichen Erklärung, wurde auf die Bearbeitung zusätzlicher Übungsaufgaben verzichtet, um Time-on-Task zwischen den Gruppen vergleichbar zu halten. Die Rahmenbedingungen des Treatments stimmten in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES überein. Abbildung 4-5 gibt den Ablauf des Treatments wieder.

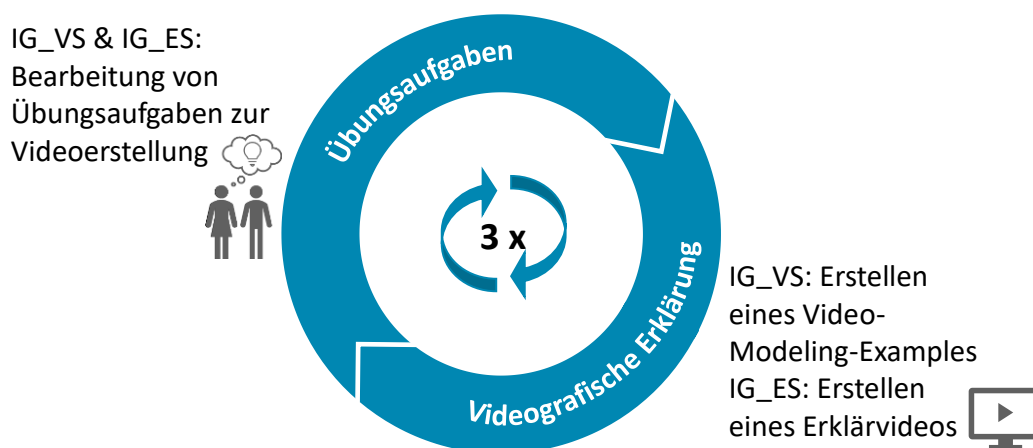


Abbildung 4-5: Ablauf des Treatments in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES

Das Treatment wiederholte sich in den beiden dargestellten Gruppen ebenfalls zwei weitere Male, sodass die Studierenden in diesen Gruppen jeweils drei Lernvideos zu den ausgewählten Themen des Treatments entwickelten. Die Studierenden in allen vier Interventionsgruppen erstellten folglich jeweils eine Erklärung zur Redoxchemie, VSEPR-Theorie sowie zur Säure-Base-Chemie.

Durch die materialgestützte, eigenständige Aufgabenbearbeitung und Generierung der Erklärungen, wurden einem Versuchsleitereffekt entgegengewirkt. Die Seminarleiterin unterstützte die Studierenden lediglich bei Fragen. Dadurch, dass die Studierenden vergleichbare Vorgaben erhielten, wurde eine unterscheidbare Beeinflussung der Interventionsgruppen aufgrund interpersonaler Erwartungen gemäß dem Versuchsleitereffekt vermieden (Döring, 2023; Rosenthal, 1969).

Übungsphase II

Damit die Interventionsgruppen bis auf das Treatment weiterhin vergleichbar mit der Kontrollgruppe blieben, führten diese analog mit der Kontrollgruppe zum Abschluss des Seminars eine Übungsklausur in den Vorlesungsbereichen Analytische und Anorganische Chemie durch. Allen Gruppen wurde dafür eine Seminarstunde gewährt. Zudem hatten die Studierenden erneut die Gelegenheit, Fragen zu bereits bearbeiteten Übungsblättern zu stellen. Die Übungsphase II wurde somit von allen Studierenden in der Woche vor der Abschlussklausur absolviert, welche nach Ende der Vorlesungen im Modul Allgemeine Chemie stattfand.

Seminarkonzept in Hauptstudie 2

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben und in Tabelle 4-1 ersichtlich, kamen die Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES lediglich in Hauptstudie 1 zum Einsatz. Hauptstudie 2 wurde entsprechend nur mit den Gruppen IG_VF und IG_EF fortgeführt, wobei die Durchführung der Phasen und Inhalte unverändert blieb. Damit entfiel in Hauptstudie 2 das Erstellen videografischer Erklärungen (Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5: Strukturierung des Seminarkonzepts in Hauptstudie 2

Dauer	Phase	Inhalte
1. Woche	Einführungsphase I	Kennenlernen
2.-6. Woche	Übungsphase I	Übungsblätter
7. Woche	Einführungsphase II	Lernstrategien
8.-13. Woche	Selbstlernphase	Erstellen schriftlicher Erklärungen
14. Woche	Übungsphase II	Fragestunde & Übungsklausur

4.1.2 Untersuchungsdesign

Zur Erhebung der Lernzuwächse nahmen sowohl die Studierenden der Interventionsgruppen als auch der Kontrollgruppe an einem Fachwissenstest vor und unmittelbar nach dem Seminar teil. Der Fachwissenstest beinhaltete Fragen zu jedem der drei behandelten Themen aus der analytischen und anorganischen Chemie. Zusätzlich zum Prä- und Post-Test wurde nach einem Zeitraum von 11 bis 13 Wochen eine Follow-Up-Erhebung durchgeführt. Die Erhebungen fanden jeweils als Paper-Pencil-Tests statt. Durchgeführt wurden diese nicht während der Seminarzeit, da die Kontrollgruppe nicht an den Seminaren teilnahm. Zudem war Besuch der Tutorien für die Kontrollgruppe nicht verpflichtend, sodass eine Vollzähligkeit der Stichprobe nicht garantiert gewesen wäre. Aus diesem Grund fand der Prä-Test sowohl im Wintersemester 2022/23 als auch 2023/24 am ersten Vorlesungstag während der Vorlesungszeit zur analytischen Chemie statt. Der Post-Test erfolgte wiederum am letzten Vorlesungstag vor der Abschlussklausur in der Vorlesungszeit zur anorganischen Chemie. Die Follow-Up-Tests wurden in den ersten Wochen des darauffolgenden Sommersemesters in weiteren Vorlesungen der Chemie durchgeführt. Neben dem Prä- und Post-Test bearbeiteten die Studierenden an beiden Zeitpunkten Fragebögen. Diese wurden zu großem Teil digital über „LimeSurvey“ umgesetzt. Während der Intervention führten die Studierenden einen weiteren Fragebogen digital durch (Kapitel 4.2.3).

4.1.3 Beschreibung der Stichprobe

Die Stichprobe der Hauptstudie im Wintersemester 2022/23 bestand aus $N = 107$ Studierenden des Lehramts Chemie im ersten Studiensemester. Diese belegten die obligatorischen Vorlesungen im Modul „Allgemeine Chemie“, das nur im Wintersemester angeboten wird. Die zur Beantwortung der Forschungsfragen notwendige Stichprobengröße wurde mithilfe der Funktion „*pwr.anova.test*“ aus dem Paket „*pwr*“ in R geschätzt (Champely, 2020). In Anlehnung an vergleichbare Studien von Fiorella und Mayer (2013), Fiorella und Mayer (2014) sowie Renkl (2001), welche starke und überwiegend mittlere Effektstärken berichteten und unter Berücksichtigung der Studie von Ryoo und Linn (2014), die kleine Effekte nachweisen konnten, wurde nach Bühner (2021) eine mittlere Effektstärke von $d = .25$ angenommen. Wie Abbildung 11-1 zu entnehmen ist, ist bei der Annahme einer mittleren Effektstärke von $d = .25$ nach Cohen (1988) für die Vergleichsstudie der vier Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe ein Stichprobenumfang von jeweils $N = 40$ Studierende erforderlich (Bühner & Ziegler, 2017). Der Signifikanzlevel liegt dabei bei $\alpha = .05$ und die Teststärke bei 80 %. In der Hauptstudie 1 im Wintersemester 2022/23 nahmen in allen vier Interventionsgruppen $N_{IG} = 61$ ($N = 39$ weiblich, $N = 23$ männlich) Studierende und in der Kontrollgruppe $N_{KG} = 45$ ($N = 16$ weiblich, $N = 17$ männlich) Studierende teil. Es handelt sich dabei um die Anzahl der Studierenden, die an mindestens einem Treatment teilgenommen und somit mindestens eine Erklärung abgegeben haben. Der überwiegende Teil der Studierenden der Hauptstudie 1 gab an, im ersten Semester ihres Studiums zu sein ($M = 1.21$, $SD = .77$). Die Verteilung der Studierenden in Hauptstudie 1 ist Tabelle 4-6 zu entnehmen. Sie enthält zudem die Wahl der Schulart im Lehramtsstudium und für Gymnasien und Realschulen das Zweitfach. Des Weiteren wurde die Geschlechterverteilung erfasst, wobei die Studierenden zwischen den Kategorien „weiblich“, „männlich“ und „divers“ wählen konnten. Da die Option „divers“ nicht gewählt wurde, liegt in dieser Studie eine Geschlechterverteilung zwischen weiblich und männlich vor.

Aufgrund des Seminar- oder Studienabbruchs sind während der Hauptstudie 1 drei Studierende aus der Interventionsgruppe IG_VF und ein Studierender aus der Interventionsgruppe IG_VS ausgestiegen. Die unbalancierte Verteilung der Studierenden auf die Kontrollgruppe und den Interventionsgruppen beruht auf den Rahmenbedingungen des Studiengangs. Auch konnten die Studierenden nicht zur Teilnahme an den Seminaren und damit an der vier IGs verpflichtet werden. Dies führt

zu dem größeren Umfang der Kontrollgruppe. Die Datenerhebung erfolgte zudem in den entsprechenden Vorlesungen, die ebenfalls auf einer freiwilligen Teilnahme basierten. Da folglich nicht alle Studierenden der Interventionsgruppen an den Erhebungen teilnahmen, reduzierte sich die Anzahl der Daten in Hauptstudie 1 zur Beantwortung der Forschungsfragen 1.1, 1.2 sowie 1.3 entsprechend. Von der gesamten Stichprobe $N = 201$ nahmen $N = 192$ Studierende an mindestens einem Wissenstest teil. Die komplette Datenlage ist von einer Stichprobengröße von $N = 45$ Studierenden vorhanden. Die Ursache hierfür liegt, wie zuvor erwähnt, in den spezifischen Studienbedingungen, wobei auch ein möglicher Studienabbruch während oder nach dem ersten Semester zu berücksichtigen ist. Unter anderem führte der geringe Stichprobenumfang in den Interventionsgruppen zur Reduktion der Hauptstudie 2 auf die Interventionsgruppen 1 und 2. Die Kontrollgruppe in Hauptstudie 2 bestand aus $N_{KG} = 35$ ($N = 18$ weiblich, $N = 13$ männlich) Studierenden. An den beiden Interventionsgruppen nahmen gemeinsam $N_{IG} = 59$ Studierende teil ($N = 37$ weiblich, $N = 22$ männlich). Die genaue Auflistung der Studierenden in Hauptstudie 2 ist Tabelle 4-6 zu entnehmen. Während der zweiten Durchführung der Hauptstudie traten zwei Studierende aus der Interventionsgruppe IG_VF aus. In Hauptstudie 2 befanden sich die Studierenden ebenfalls vorwiegend im ersten Semester ihres Studiums ($M = 1.27$, $SD = .79$)

Tabelle 4-6: Übersicht zur Stichprobenverteilung in HS 1 und 2

Gruppe	N (HS1 / HS2)	Geschlecht (w / m / d / f)	Schulart (GY / RS / MS / GS / f)	Zweifach (B / M / E / P / f)
KG	45/35	34/30/-/16	42/19/3/1/15	28/24/8/3/17
IG_VF	17/26	26/17/-/-	28/10/-/5/-	22/12/-/2/7
IG_EF	14/33	30/17/-/-	37/8/-/2/-	21/13/4/2/7
IG_VS	17/-	10/7/-/-	16/1/-/-/-	13/2/1/-/1
IG_ES	14/-	10/4/-/-	11/3/-/-/-	5/7/-/-/2

Anmerkungen: HS: Hauptstudie, w: weiblich, m: männlich, d: divers, f: fehlend, GY: Gymnasium, RS: Realschule, MS: Mittelschule, GS: Grundschule, B: Biologie, M: Mathe, E: Englisch, P: Physik

Anhand der erfassten demografischen Angaben ist ersichtlich, dass die meisten Lehramtsstudierenden für die Schulart Gymnasium studierten (Abbildung 4-6).

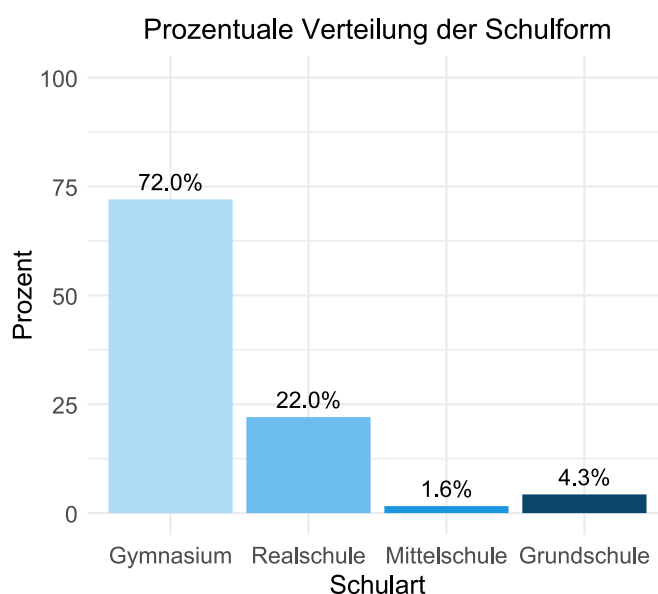


Abbildung 4-6: Prozentuale Verteilung der gewählten Schulform der Chemie-Lehramtsstudierenden in Hauptstudie 1 und 2

Die Abiturgesamtnote beträgt für die Studierenden der Hauptstudie $M = 2.01$ ($SD = .57$).

Von den Studierenden gaben 63,2 % an, Chemie in der Oberstufe belegt zu haben, davon haben 44,1 % eine Abiturprüfung im Fach Chemie absolviert. Sieben Prozent der Studierenden haben vor Beginn des aktuellen Studiums eine Berufsausbildung begonnen, während 14,4 % zuvor einen anderen Studiengang gestartet hatten. Auf die Frage, ob das aktuelle Studium dem gewünschten Studiengang entspricht, gaben 7,5 % an, dass dies nicht zutrifft.

4.1.4 Begründung der Themenauswahl

Die ausgewählten Themen sind in dem Modul Allgemeine Chemie vorgesehen (Abbildung 4-7) (Universität Regensburg, 2017, 2020). Protolysegleichgewichte sind Inhalt der Vorlesung Analytische Chemie, während Redoxgleichgewichte und Molekülbau in der Vorlesung der Anorganischen Chemie behandelt werden. Beide Vorlesungen sind Bestandteil des Moduls Allgemeine Chemie, welche im ersten Semester des Chemiestudiums vorgesehen ist. Die Themen bilden im ersten Semester die Grundlage für das weiterführende Studium, sodass eine Festigung des Wissens dem weiteren Verständnis dienlich ist. Das Lehramtsstudium an bayeri-

schen Universitäten endet mit dem Staatsexamen. Da in den Staatsexamensprüfungen der Anorganischen Chemie häufig Fragen zu den ausgewählten Themen gestellt werden, ist es von Vorteil, das Fachwissen der Studierenden diesbezüglich bereits zu Beginn des Studiums zu stärken.

3. Inhalte / Lehrziele

Vermittlung grundlegender Konzepte der Chemie wie Atom- und Molekülbau, Stöchiometrie, einfache Bindungstheorie, Protolyse-, Redox- und Löslichkeitsgleichgewichte sowie das Verständnis von Festkörperstrukturen. Einführung in die Wellennatur der Materie (Orbitale, Mehrelektronensysteme), Grundbegriffe und Grundprinzipien der Thermodynamik und Kinetik (Massenwirkungsgesetz). Experimentalvorlesung: einfache Stoffchemie, beginnend mit Wasserstoff, den Edelgasen, den Halogenen, den Chalkogenen usw., begleitet von etwa zehn Demonstrationsversuchen pro Stunde.

Abbildung 4-7: Inhaltsbeschreibung des Moduls Allgemeine Chemie (Universität Regensburg, 2017, S. 2)

In der Vorlesung Analytische Chemie werden Protolysegleichgewichte in einem Zeitraum von vier Vorlesungen behandelt, die jeweils 90 Minuten dauern. Dabei liegt der Fokus auf die Herleitung und dem Einsatz der Näherungsformeln zur Berechnung von pH-Werten verschiedener wässriger Lösungen. Die quantitativen Berechnungen eignen sich besonders zur schrittweisen Gestaltung eines Video-Modeling-Examples, während die Konzepte der Gleichgewichtsreaktionen, welchen dem pH-Wert zu Grunde liegen, in den Erklärvideos thematisiert werden. Infolge der Kürze der Videos verglichen zu den Vorlesungen bieten diese einen Überblick zu den Inhalten mehrerer Vorlesungen.

Der Themenbereich Redoxgleichgewichte stellt einen von mehreren Inhalten der Vorlesung Anorganische Chemie dar. Im Rahmen der Vorlesung wird ein Überblick zur Bestimmung der Oxidationszahlen und zum Aufstellen von Redoxreaktionen gegeben. Daran anknüpfend, veranschaulichen die Videos das Konzept der Elektronenübertragung und skizzieren die Schritte im Aufstellen der Redoxreaktionen anhand entsprechender Beispiele. Analog zur Vorlesung wird die Bestimmung der Oxidationszahlen, welche grundlegend für Redoxreaktionen sind, thematisiert.

Die Molekülstruktur und damit verbunden die VSEPR-Theorie stellen einen zentralen Inhalt der Vorlesung Anorganische Chemie dar. Anhand von Beispielen wird die Bestimmung der Molekülgeometrie nach der VSEPR-Theorie erläutert. Dies

wird in den Videos aufgegriffen, wobei das Erklärvideo auf Konzepten wie die Oktettregel und den Regeln zur Bestimmung der Molekülstruktur basiert. Das Video-Modeling-Example fokussiert die Vorgehensweise zur Bestimmung der Molekülstruktur und der Bindungswinkel im Molekül. Insofern kann dieses Thema ebenfalls als geeignete Vorlage für die Gestaltung beider Videos herangezogen werden.

4.1.5 Entwicklung der Videos

Zur Förderung der ausgewählten Themen im Rahmen der Intervention war in den Gruppen IG_VF und IG_EF der Einsatz von Lernvideos vorgesehen. Hervorgehend aus der Forschungsfrage 2.2 war eine Differenzierung der Videos hinsichtlich ihres Aufbaus zwischen den beiden Gruppen erforderlich. Die Interventionsgruppe IG_VF erhielt zu den zu fördernden Themen jeweils ein Video-Modeling-Example, die Interventionsgruppe IG_EF hingegen ein Erklärvideo. Im Folgenden wird der generelle Ablauf bei der Erstellung der Lernvideos beschrieben. Dabei werden die spezifischen Gestaltungsmerkmale der einzelnen Videotypen dargestellt.

Die Erstellung der Videos erfolgte in mehreren Schritten, die bei der Produktion jedes Videos befolgt wurden. Die Beschreibung in der Gestaltung der Videos verläuft entlang dieser Schritte. Da die Vorgehensweise bei den unterschiedlichen Themen analog war, beschränkt sich die folgende Darstellung exemplarisch auf die Erstellung der Videos zur VSEPR-Theorie.

Lernziele und Inhalte

Zu jedem Thema wurden vorab die Lernziele festgelegt, um aus diesen die Inhalte zu gestalten. Dieser Schritt diente dazu, eine Vergleichbarkeit zwischen den Videotypen sicherzustellen, indem der Fokus auf ähnlichen Inhalten liegt. Die Auswahl der Inhalte orientiert sich an entsprechender Fachliteratur und zugleich an den Vorlesungsinhalten, um die Nähe zu den Vorlesungen beizubehalten. Die Lernziele, auf welchen sich die Gestaltung der Erklärvideos stützt, basieren auf der Vermittlung deklarativen Wissens. Die Lernziele in Bezug auf die Video-Modeling-Examples bezwecken die Vermittlung prozeduralen Wissens. Zur Konkretisierung sind nachfolgend die Lernziele der Videos zum Thema VSEPR-Theorie gegenübergestellt:

Tabelle 4-7: Lernziele des Erklärvideos und Video-Modeling-Examples zum Thema VSEPR-Theorie

Lernziele VSEPR-Theorie	
Erklärvideo	<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden können die Regeln zur Bestimmung der <i>Molekülstruktur</i> nach der VSEPR-Theorie erläutern. • Die Studierenden können die Regeln zur Einschätzung der <i>Bindungswinkel</i> nach der VSEPR-Theorie erläutern.
Video-Modeling-Example	<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden können die <i>Molekülstruktur</i> verschiedener Verbindungen mithilfe der VSEPR-Theorie bestimmen. • Die Studierenden können mithilfe der VSEPR-Theorie die Größe von <i>Bindungswinkeln</i> in Verbindungen einschätzen.

Skript und Drehbuch

Die zuvor festgelegten Inhalte wurden in einem Skript in Form einer Erklärung schriftlich festgehalten. Es handelte sich dabei um den zu sprechenden Text des Videos. Um den differenzierten Fokus der Lernziele durch die Gestaltung der Videos zu erreichen, verfolgten die Inhalte jeweils eine unterschiedliche Struktur. Die Erklärvideos wurden entlang der Regel-Beispiel-Struktur konzipiert, während die Video-Modeling-Examples in Form ausgearbeiteter Lösungsbeispiele die Beispiel-Regel-Struktur verfolgten. Konkret wurde dies in dem Erklärvideo zum Thema VSEPR-Theorie durch die folgende Auswahl der Inhalte erreicht. Um die Relevanz des Videos zu verdeutlichen, wurde ausgehend aus der Valenzstrichformel die Anwendung der VSEPR-Theorie zur Beschreibung von Molekülstrukturen erläutert. Aus Gründen der didaktischen Reduktion und der Passung zu den Vorlesungsinhalten wurde als Hauptgrund für die Anordnungsweise der bindenden Elektronenpaare um das Zentralatom die Abstoßung der Valenzelektronenpaare zur Bildung der energetisch günstigsten Struktur genannt. Daraus folgend wurden die Regeln zur Bestimmung der Molekülstruktur vorgestellt (Kapitel 4.1.6). Die Regeln wurden nacheinander erklärt und anhand von Beispielen visuell verdeutlicht. Die visuellen Elemente wurden sowohl in der Repräsentationsebene als auch in der submikroskopischen Ebene wiedergegeben, um die Molekülstrukturen in der zweidimensionalen sowie dreidimensionalen Darstellung aufzuzeigen. Zusammenfassend wurde im Video eine Tabelle mit den Molekülstrukturen in Abhängigkeit bindender Elektronenpaare aufgezeigt. Diese wurde nach der Erläuterung der zweiten Regel mit den Molekülstrukturen in Abhängigkeit der nicht-bindenden

Elektronenpaare ergänzt. Im Anschluss an die letzte Regel wurden die Regeln kurz zusammengefasst und gemeinsam aufgezeigt.

Im Unterschied zum Erklärvideo, war das Ziel des Video-Modeling-Examples die Förderung des prozeduralen Wissens. Dies wurde durch die schrittweise Vorstellung der Vorgehensweise in der Anwendung der VSEPR-Theorie zur Bearbeitung entsprechender Aufgaben erreicht. Die Erklärung beinhaltete neben den Lösungsschritten die relevanten Prinzipien, die in der Bearbeitung der Aufgaben Anwendung finden (Kulgemeyer, 2019b). Diese sind für Erklärungen im naturwissenschaftlichen Bereich notwendig, um das Wissen zur Aufgabenlösung auf neue Problemstellungen anwenden zu können (Kulgemeyer, 2019b). Dies wurde im Video-Modeling-Example folgendermaßen bewerkstelligt. Das Video startete nach einer kurzen Einführung mit der ersten Aufgabe. Diese wurde vorgelesen und anschließend begann die Vorstellung der Lösungsschritte aus der Ich-Perspektive. Im Rahmen der ersten Aufgabe sollten die Regeln der VSEPR-Theorie zur Bestimmung der Molekülstruktur angewendet werden, um die Molekül- und Pseudostrukturen von zwei Verbindungen zu bestimmen. Nach Abschluss der Aufgabe wurden im Rahmen einer Zwischenzusammenfassung die Regeln und anschließend die Tabelle zur Bestimmung der Molekülstrukturen in Abhängigkeit der bindenden und nicht-bindenden Elektronenpaare aufgezeigt. Zur Beantwortung der zweiten Aufgabe im Video mussten die Regeln der VSEPR-Theorie in Bezug die Bindungswinkel angewendet werden, um die Bindungswinkel verschiedener Moleküle einschätzen zu können. Das Video endete mit einer erneuten Zusammenfassung der Regeln bezüglich der Bindungswinkel.

Das Skript wurde anschließend zu einem Drehbuch weiterentwickelt. Dieses enthielt neben dem Audioskript eine Einteilung in die Phasen des Inhalts und Hinweise zu der visuellen Gestaltung des Skriptes. Dabei wurden die visuellen Elemente des späteren Videos stichpunktartig beschrieben, um eine Strukturierung der Videogestaltung mit Passung an die auditiven Elemente zu verwirklichen. Die Gestaltung der visuellen Elemente und Animationen erfolgte im Anschluss an die Vorüberlegungen. Abbildung 4-8 zeigt einen Ausschnitt des Drehbuchs zum Video-Modeling-Example. Neben den Spalten „Phase“, „Sprechakte“ und „Visuelle Elemente“ enthielten diese Drehbücher zusätzlich die Spalte „Medium“. In dieser wurden festgehalten, ob der entsprechende Videoabschnitt zu dem Sprechakt mit dem Programm Microsoft PowerPoint (PP) oder der App Explain Everything (EE) gestaltet wird. Für die Drehbücher der Erklärvideos entfiel diese Spalte, da diese Videos ausschließlich mit Microsoft PowerPoint erstellt wurden.

Medium	Phase	Sprechakte	Visuelle Elemente
PP	Begrüßung	<i>5 Sekunden Verzögerung</i> Herzlichen Willkommen zu diesem Video, in dem wir uns genauer mit der VSEPR-Theorie befassen.	Einspieler „Aufgaben zur VSEPR-Theorie“
PP	Einführung	Valenzstrichformeln oder auch Lewis-Formeln genannt geben die zweidimensionale Struktur von Molekülen wieder. Um sich die Molekülstruktur dreidimensional vorstellen zu können, dient die VSEPR-Theorie. Wie du die VSEPR-Theorie nutzen kannst, um Aufgaben zu den geometrischen Strukturen von Molekülen zu beantworten, zeige ich dir in diesem Video.	<ul style="list-style-type: none"> • Summenformel Ammoniak • Lewis-Formel Ammoniak • Molekülgestalt Ammoniak
EE	Aufgabe 1	Zuerst lese ich mir die Aufgabenstellung durch und markiere mir die wichtigsten Informationen. „Zeichne die Valenzstrichformeln für die folgenden Verbindungen unter Berücksichtigung aller Valenzelektronen und der Oktettregel. Sag anschließend die Struktur und die Pseudo-Struktur beider Verbindungen mithilfe der VSEPR-Theorie voraus.“ Ich soll also jeweils die Valenzstrichformeln zeichnen und die Struktur und Pseudostruktur bestimmen. Ich starte mit der ersten Verbindung, N H drei.	Aufgabe 1 und markieren

Abbildung 4-8: Ausschnitt aus dem Drehbuch des Video-Modeling-Examples zur VSEPR-Theorie

Im Rahmen der Drehbucherstellung wurden die Gestaltungsprinzipien multimedialer Lernumgebungen nach Mayer (2009) berücksichtigt. Von besonderer Bedeutung waren dabei das Kohärenzprinzip sowie das Modalitätsprinzip. Auf diesen basierend wurden nur die für die Erklärung notwendigen Informationen ausgewählt, welche für die Videos auditiv präsentiert werden. Bei der Erstellung des Audioskriptes wurde zusätzlich das Personalisationsprinzip beachtet, wonach die Adressat:innen persönlich angesprochen werden sollen (Mayer, 2009). Diese Aspekte werden zudem im Kriterienkatalog zur Gestaltung effektiver Erklärvideos nach Kulgemeyer (2018) berücksichtigt, welcher Grundlage für die Videogestaltung war. Neben den Gestaltungsprinzipien wurden die Kriterien nach Kulgemeyer (2018) befolgt. Die Erklärungen waren an die Adressat:innen adaptiert, indem das Vorwissen berücksichtigt und zusätzlich Veranschaulichungswerkzeuge wie Beispiele oder Experimente angewendet wurden (Kulgemeyer, 2019a). Zudem wurde bei der Formulierung der Sprechakte auf den Einbau von Konnektoren zur höheren Kohärenz der Erklärung geachtet (Kulgemeyer, 2018). Des Weiteren wurde bereits bei der Drehbuchentwicklung berücksichtigt, die Videodauer auf etwa sechs Minuten zu beschränken (Guo et al., 2014).

Video- und Audioaufnahme

Nach Erstellung des Drehbuches erfolgte die visuelle Gestaltung der Videos. Diese folgte weiterhin den Gestaltungskriterien für Erklärvideos nach Kulgemeyer

(2018) und den Gestaltungskriterien für multimediale Lernumgebungen nach Mayer (2009).

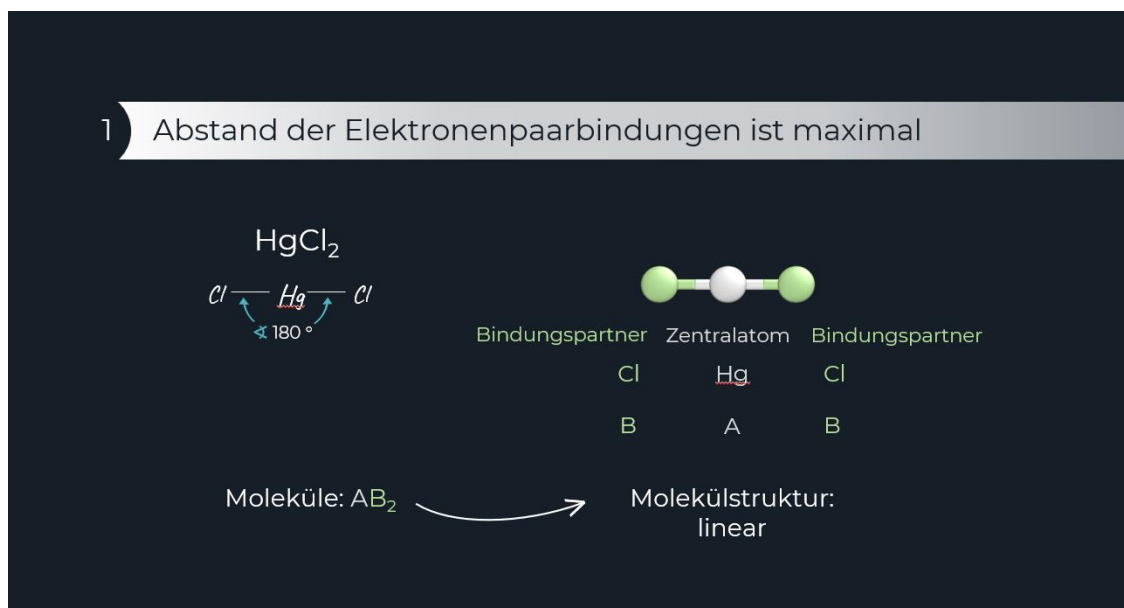


Abbildung 4-9: Ausschnitt des Erklärvideos zur VSEPR-Theorie

Zur Unterstützung des gesprochenen Textes wurden die Inhalte mit visuellen Elementen ergänzt. Es wurden dafür entsprechende Bilder und Grafiken erstellt, die dem räumlichen und zeitlichen Kontiguitätsprinzip folgend zum Sprechakt aufgeblendet wurden. Zur kognitiven Unterstützung wurden relevante Inhalte des gesprochenen Textes zusätzlich als geschriebener Text aufgezeigt. Diese waren jedoch keine wortgleiche Verschriftlichung des Sprechaktes, um Redundanz zu vermeiden. Die Texte im Video wurden auf relevante Fachbegriffe und die wichtigsten Informationen beschränkt (Abbildung 4-9). Neben Hervorhebungen wichtiger Informationen durch sprachliche Signalisierungen in Form von Betonungen wurden visuelle Signale in den Videos eingebunden (Kulgemeyer, 2018).

Wie zuvor angeführt, wurden die Erklärvideos in Microsoft PowerPoint gestaltet und anschließend als Bildschirmaufnahme verfilmt.

Zur Einheitlichkeit und ästhetischen Optimierung erhielten alle Videos denselben dunklen Hintergrund, während für die Text- und Bildelemente zum Kontrast helle Farben gewählt wurden. Abbildung 4-9 zeigt einen Bildausschnitt des Erklärvideos zur VSEPR-Theorie.

Zur Visualisierung der makroskopischen oder submakroskopischen Ebene wurden entsprechende Bildelemente erstellt. Dabei wurde die Optik zwischen den Videos

einheitlich gestaltet, indem die makroskopischen Elemente ebenfalls als Zeichnungen dargestellt wurden. Dies war insbesondere in den Videos zur Säure-Base-Chemie notwendig, um einen Übergang der makroskopischen zur submikroskopischen Ebene darstellen zu können.

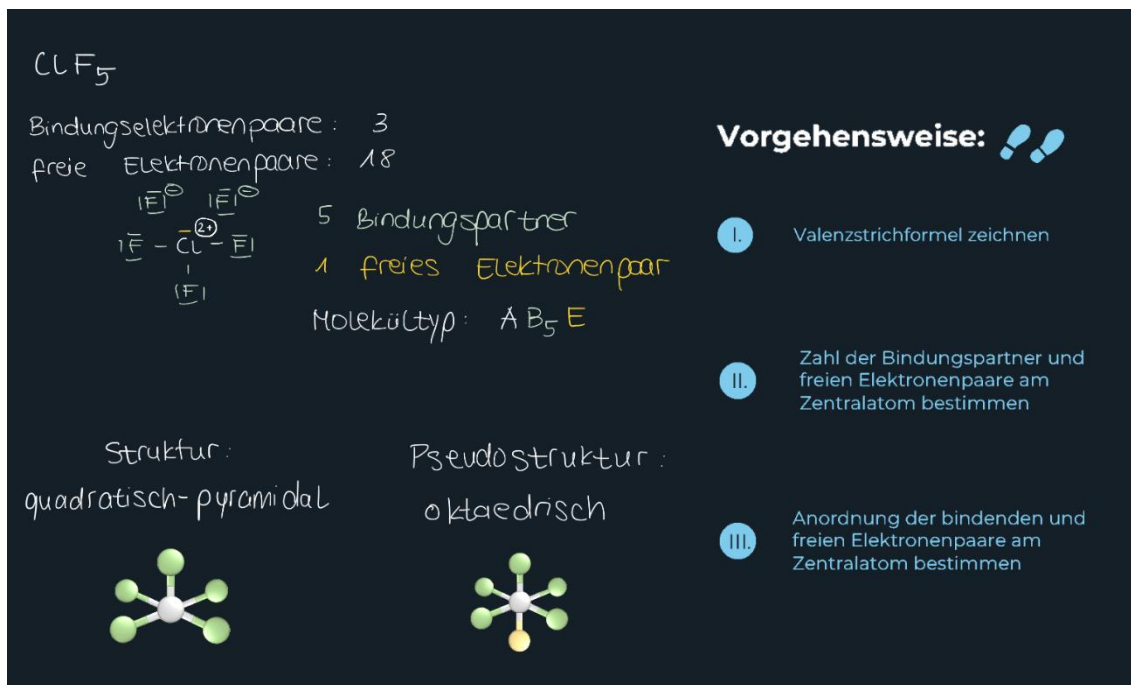


Abbildung 4-10: Ausschnitt des Video-Modeling-Examples zur VSEPR-Theorie

Die primäre mediale Gestaltungform der Video-Modeling-Examples liegt in der Whiteboard-Aufzeichnung. Diese wird mithilfe der zuvor genannten App Explain Everything umgesetzt. Dabei werden die Aufgaben handschriftlich schrittweise gelöst und die Adressat:innen werden in die Denkprozesse während des Vorgangs eingebunden (Zander et al., 2020). Vor der digitalen Aufzeichnung des Videos wurden die Inhalte und Positionen der Textelemente geplant. Zusätzlich wurden diese mit Grafiken unterstützt, welche zuvor in Microsoft PowerPoint entworfen wurden (Abbildung 4-10). Bei der Erstellung der digitalen Mitschrift wurde berücksichtigt, dass die einzelnen Folien nicht überfüllt wurden und die visuellen Elemente nacheinander erschienen (Guo et al., 2014). Zudem wurde auf eine leserliche Handschrift geachtet (Guo et al., 2014). Abbildung 4-10 veranschaulicht die Erstellung der Whiteboard-Aufzeichnung während der Videoproduktion des Video-Modeling-Examples.

Nachbearbeitung

Die Audioaufnahme wurde unabhängig von der Videoaufzeichnung mithilfe des Rode NT-USB-Mikrofons erstellt und im Anschluss in der Software Audacity überarbeitet. Anschließend wurden die finalen Ton- und Videospuren mit der Software Kdenlive zusammengefügt und bearbeitet. Um die fachliche und fachsprachliche Korrektheit zu gewährleisten sowie Hinweise zur Optimierung der Videos zu erhalten, wurde vor Finalisierung Feedback durch die Arbeitsgruppe der Chemiedidaktik an der Universität Regensburg eingeholt.

4.1.6 Sachanalyse

Im folgenden Kapitel werden die fachlichen Hintergründe der Themen der Intervention dargelegt, auf welchen die Inhalte der Erklärungen sowie der Lernvideos basieren.

Die räumliche Struktur von Molekülen

Die Beantwortung der Frage, welche Faktoren die räumliche Struktur von Molekülen bestimmen, erforderte die Entwicklung geeigneter Modelle (Gillespie & Robinson, 2005). Gillespie und Nyholm (1957) führten dafür das **Valence-Shell-Electron-Pair-Repulsion-Modell** – kurz VSEPR-Modell – ein. In der deutschen Übersetzung wird es als Valenzschalen-Elektronenpaar-Abstoßungsmodell bezeichnet. Das VSEPR-Modell nimmt an, dass sich sowohl die gebundenen als auch freien Elektronenpaare der Valenzschale eines Zentralatoms mit dem größtmöglichen Abstand zueinander anordnen.

Das VSEPR-Modell ist insbesondere in der Einführungsphase der Lehre zur Molekülstruktur etabliert (Gillespie & Robinson, 2005). Besondere Relevanz hat es dadurch gewonnen, dass das Modell neben der Bestimmung der Molekülstruktur einfacher Art von Molekülen in der Form AB_n , auch auf Moleküle der Form AB_nE_m anzuwenden ist, welche freie Elektronenpaare besitzen (Gillespie & Robinson, 2005; Riedel & Meyer, 2019; Schweda, 2016). A bezeichnet das Zentralatom und B einen Bindungspartner, wobei die kovalente Bindung zwischen Zentralatom und Bindungspartner aus einer Einfach-, Zweifach- oder Dreifachbindung bestehen kann (Gillespie & Robinson, 2005). E steht für die freien Elektronenpaare am Zentralatom. Die Vernachlässigung freier Elektronenpaare am Zentralatom bei der Bestimmung der Molekülstruktur führt zu fehlerhaften Vorhersagen, da diese ebenso wie die Bindungspartner Platz beanspruchen (Gillespie & Robinson, 2005).

Das VSEPR-Modell basiert auf den folgenden Annahmen, die zur Voraussage der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronenpaare und daraus resultierend der Molekülstruktur dienen (Gillespie, 2004):

- Die Elektronenpaare in der Valenzschale eines Zentralatoms ordnen sich mit maximalem Abstand zueinander an.
- Die Abstoßung freier Elektronenpaare ist größer als bindender Elektronenpaare.
- Mit zunehmender Elektronegativität des Zentralatoms oder abnehmender Elektronegativität der Liganden nimmt die Abstoßung der freien Elektronenpaare ab. Dies führt zu größeren Bindungswinkeln zwischen den Liganden.
- Die Abstoßung von Mehrfachbindungen ist größer als von Einfachbindungen.

Der Unterschied in der Anordnung zwischen bindenden und freien Elektronenpaaren liegt in der Anzahl der anziehenden Atomkerne. Während bindende Elektronenpaare im Feld zwischen zwei Atomkernen liegen, werden freie Elektronenpaare nur von einem Atomkern angezogen (Gillespie, 2004; Riedel & Meyer, 2019). Dadurch breiten sich freie Elektronenpaare so weit wie möglich um den Kern herum aus. Dies führt zu größeren Bindungswinkeln zwischen freien und bindenden Elektronenpaaren als zwischen bindenden Elektronenpaaren (Gillespie, 2004; Riedel & Meyer, 2019). Einen weiteren Einfluss auf den Bindungswinkel in Molekülen hat die Elektronegativität des Zentralatoms. Zunehmende Elektronegativität führt zu abnehmendem Raumanspruch der bindenden Elektronenpaare aufgrund des verkleinerten Bereichs der Elektronenpaarbindung. Daraus folgen geringere Bindungswinkel zwischen den Bindungspartnern und größere Bindungswinkel zu den freien Elektronenpaaren. Dem entgegengesetzt wächst bei Mehrfachbindungen der Bereich der Elektronenpaarbindung mit Anzahl der Bindung und somit auch die entsprechenden Bindungswinkel (Gillespie, 2004).

Die Erklärung für die abstoßenden Kräfte zwischen Elektronenpaaren basiert auf dem Pauli-Prinzip. Dieses besagt, dass die Elektronen in einem Atom nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen (Riedel & Meyer, 2019). Daraus folgt, dass ein Orbital nicht mit zwei Elektronen des gleichen Spins besetzt werden kann (Gillespie & Matta, 2001). Zudem nähern sich Elektronen mit demselben Spin (Up-Spin oder Down-Spin) nicht an, sondern nehmen den größtmöglichen Abstand zueinander ein. Dagegen beeinflussen sich Elektronen entgegengesetzten

Spins in ihrer Aufenthaltswahrscheinlichkeit nicht, abgesehen ihrer wechselseitigen elektrostatischen Abstoßung (Gillespie, 2004).

Die Elektronen gleichen Spins in einem Molekül in der Form AB_n , bei welchem das Zentralatom A das Elektronenoktett besitzt, ordnen sich dem Pauli-Prinzip und der elektrostatischen Abstoßung zwischen Atomkern und Elektronen folgend tetraedrisch an (Abbildung 4-11). Durch die tetraedrische Struktur wird der größtmögliche Abstand zwischen den jeweils vier Elektronen gleichen Spins erreicht. Gillespie (2004) betont, dass diese Struktur demnach der wahrscheinlichsten Anordnung der Elektronen entspricht. In der Abwesenheit von Bindungspartnern ordnen sich die acht Elektronen in der Valenzschale des Zentralatoms kugelförmig an. Wie in Abbildung 4-11 dargestellt, führt in Anwesenheit von mindestens zwei Bindungspartnern die Kernanziehung dieser dazu, dass sich das Tetraeder der Up-Spin-Elektronen mit dem Tetraeder der Down-Spin-Elektronen überlagert und sich dadurch Elektronenpaare in tetraedrischer Ausrichtung bilden (Gillespie & Matta, 2001). Abbildung 4-11 zeigt die Anordnung der Elektronenpaare bei einem Molekül in der Form AB_2E_2 , was beispielsweise einem Wassermolekül entspricht. Übertragen auf Moleküle mit 10 Elektronen in der Valenzschale, die fünf Elektronenpaare mit entgegengesetztem Spin bilden, ordnen sich die Elektronenpaare in trigonal-bipyramidale Struktur an (Gillespie, 2004). Weitere Molekülstrukturen in Abhängigkeit der Anzahl freier und bindender Elektronenpaare sind in Tabelle 4-8 aufgelistet.

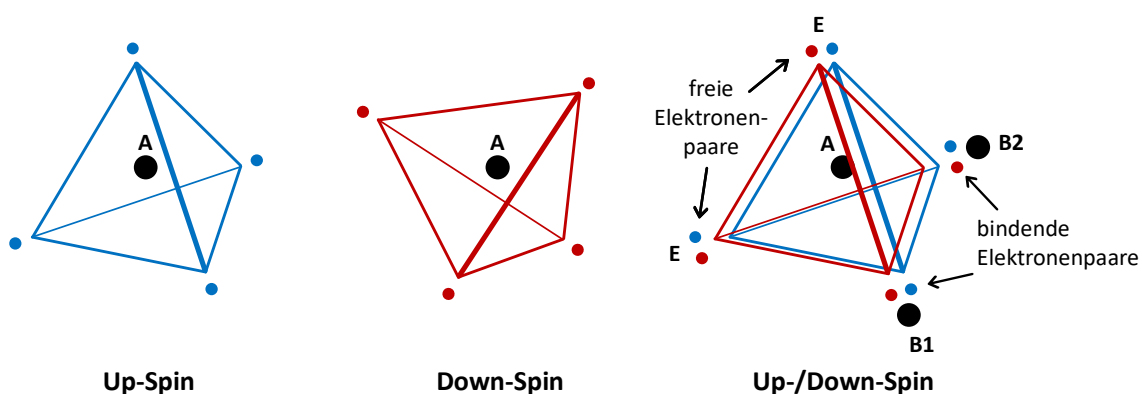


Abbildung 4-11: Anordnung von acht Elektronen in der Valenzschale des Zentralatoms in Abhängigkeit von der Anwesenheit von Bindungspartnern nach dem Pauli-Prinzip (Eigene Darstellung nach Gillespie, 2004, S. 299)

Tabelle 4-8: Molekülstrukturen in Abhängigkeit der bindenden und freien Elektronenpaare nach dem VSEPR-Modell (nach Riedel und Meyer (2019, S. 96))

Anzahl der Elektronenpaare	Geometrie der Elektronenpaare	Molekültyp	Molekülstruktur
2	Linear	AB ₂	Linear
3	Dreieckig	AB ₃	Dreieckig
		AB ₂ E	V-förmig
4	Tetraedrisch	AB ₄	Tetraedrisch
		AB ₃ E	Trigonal-pyramidal
		AB ₂ E ₂	V-förmig
5	Trigonal-bipyramidal Quadratisch-pyramidal	AB ₅	Trigonal-bipyramidal
		AB ₅	Quadratisch-pyramidal
		AB ₄ E	Tetraedrisch-verzerrt
		AB ₃ E ₂	T-förmig
		AB ₂ E ₃	Linear
6	Oktaedrisch	AB ₆	Oktaedrisch
		AB ₅ E	Quadratisch-pyramidal
		AB ₄ E ₂	Quadratisch-planar
7	Pentagonal-bipyramidal	AB ₇	Pentagonal-bipyramidal

Die Bildung von Elektronenpaaren mit Elektronen entgegengesetzten Spins basieren nicht auf Anziehung zwischen diesen. Vielmehr überwiegt die Kernanziehungskraft der Bindungspartner die elektrostatische Abstoßung zwischen den Elektronen (Gillespie & Matta, 2001).

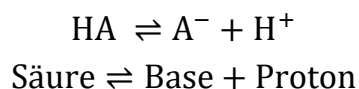
Die Ausbildung von Elektronenpaaren in der Valenzschale des Zentralatoms hängt jedoch von der Elektronegativität der Bindungspartner ab. Bei Bindungspartnern, die eine geringere Elektronegativität als das Zentralatom besitzen, lokalisieren sich die Elektronen nur schwach als Elektronenpaare. Die Elektronen ordnen sich kugelförmig um das Zentralatom an und haben folglich eine schwache Auswirkung auf die Molekülstruktur. Diese wird durch die Wechselwirkung der Bindungspartner bestimmt. Ein Beispiel hierfür wäre Disiloxan (SiH₃)₂O. Aufgrund ihrer geringen Elektronegativität führt die elektrostatische Abstoßung der Bindungspartner zu einem Bindungswinkel von 144,1° anstelle der nach dem VSEPR-Modell zu erwartenden < 109,5° (Gillespie & Matta, 2001; Gillespie & Robinson, 2005). Hierbei sind die Größe der Bindungspartner und die daraus resultierende elektrostatische Abstoßung entscheidend für die Molekülstruktur (Gillespie & Ro-

binson, 2005). Die Regeln des VSEPR-Modells sind demnach nur auf Bindungspartner anzuwenden, die eine ähnliche oder größere Elektronegativität als das Zentralatom besitzen (Gillespie, 2004; Gillespie & Matta, 2001).

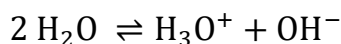
Säuren und Basen

Das von J. N. Brønsted und T. M. Lowry 1923 unabhängig voneinander entwickelte Konzept zur Beschreibung des Verhaltens von Säuren und Basen ist allgemein anerkannter Standard und Teil sowohl schulischer als auch hochschulischer Curricula (Binnewies et al., 2016; Schweda, 2016; Strähle & Schweda, 2006). Nach dem Brønsted-Lowry-Konzept „wird als Säure ein Stoff bezeichnet, der Protonen abgibt (Protonendonator). Eine Base ist ein Stoff, der Protonen aufnimmt (Protonenakzeptor)“ (Schweda, 2016, S. 55).

Deprotoniert ein Säureteilchen, entsteht ein Säurerest, welches dem korrespondierenden Baseteilchen entspricht. Diese Kombination von Säure- und Baseteilchen, bei der sich die beiden Teilchen nur durch ein Proton unterscheiden, wird als korrespondierendes Säure-Base-Paar bezeichnet. Durch Protonenaufnahme kann die korrespondierende Base erneut zur Säure reagieren (Binnewies et al., 2016; Schweda, 2016).



Die Deprotonierung einer Säure tritt nur unter der Voraussetzung auf, dass sie an eine zweite Reaktion geknüpft ist, bei welcher eine Base das Proton kovalent bindet, da dieses nicht isoliert auftreten kann (Riedel & Meyer, 2019; Schweda, 2016). Bei einer Protonenübertragungsreaktion, auch Protolysereaktion genannt, sind somit stets zwei Säure-Base-Paare miteinander gekoppelt (Riedel & Meyer, 2019). Aufgrund dieser Wechselwirkung stellt sich in Protolysereaktionen ein Gleichgewicht zwischen den Säure-Base-Paaren ein (Schweda, 2016). Kann ein Teilchen in Abhängigkeit des Reaktionspartners entweder als Base oder als Säure reagieren, wie beispielsweise ein Wassermolekül, wird es als Ampholyt bezeichnet (Riedel & Meyer, 2019). Bei der Autoprotolyse des Wassers dissoziieren die Wassermoleküle in hydratisierte Oxonium- und Hydroxidionen:



Das Massenwirkungsgesetz der Protolysereaktion lautet (Riedel & Meyer, 2019):

$$K_c = \frac{c_{H_3O^+} \cdot c_{OH^-}}{c_{H_2O}^2}$$

Da sich das Gleichgewicht der Reaktion weit auf der linken Seite befindet und somit ein Überschuss an Wassermolekülen vorliegt, kann die Konzentration der Wassermoleküle als konstant angesehen und in die Gleichgewichtskonstante einbezogen werden. Es ergibt sich das Ionenprodukt des Wassers, für welches bei 25° C gilt:

$$K_W = c_{H_3O^+} \cdot c_{OH^-} = 1,0 \cdot 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

In sauren Lösungen überwiegt die Konzentration an Oxoniumionen und ist größer als 10^{-7} mol/L. Je größer die Konzentration, umso saurer ist die Lösung. Die Acidität einer Lösung wird über den negativ dekadischen Logarithmus der Oxoniumionenkonzentration, den pH-Wert angegeben.

Überwiegt die Konzentration an Hydroxidionen, handelt es sich um eine basische Lösung, wobei die Basizität über den pOH-Wert angegeben wird (Riedel & Meyer, 2019; Schweda, 2016):

$$\begin{aligned} pH &= -\lg c_{H_3O^+} \\ pOH &= -\lg c_{OH^-} \end{aligned}$$

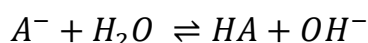
Es gilt:

$$pH + pOH = 14$$

Als quantitatives Maß der Stärke einer Säure oder Base wird die Massenwirkungskonstante der entsprechenden Protolysereaktion angegeben. Bezogen auf Säuren entspricht dies der Säurekonstante K_S (Riedel & Meyer, 2019):

$$\begin{aligned} HA + H_2O &\rightleftharpoons H_3O^+ + A^- \\ K_S &= \frac{c_{H_3O^+} \cdot c_{A^-}}{c_{HA}} \end{aligned}$$

Wie auch bei dem Ionenprodukt des Wassers kann die Konzentration der Wassermoleküle in die Massenwirkungskonstante einbezogen werden, da sie annähernd konstant bleibt. Die Säurekonstante wird meist durch den negativ dekadischen Logarithmus angegeben, dem pK_S -Wert. Analog entspricht die Basenkonstante K_B der Massenwirkungskonstante einer Base. Das Produkt aus K_S und K_B entspricht dem Ionenprodukt von Wasser (Binnewies et al., 2016):



$$K_B = \frac{c_{HA} \cdot c_{OH^-}}{c_{A^-}}$$

$$K_S \cdot K_B = \frac{c_{H_3O^+} \cdot c_{A^-}}{c_{HA}} \cdot \frac{c_{HA} \cdot c_{OH^-}}{c_{A^-}} = c_{H_3O^+} \cdot c_{OH^-} = K_W$$

Daraus folgt:

$$pK_S + pK_B = 14$$

Zur Berechnung des pH-Wertes wässriger Lösungen einer Säure HA gelten folgende Stoffmengenbilanzen:

$$c_{A^-} = c_{H_3O^+}$$

$$c_{HA} = c_{0HA} - c_{H_3O^+}$$

Übertragen auf die Massenwirkungskonstante K_S einer Säure, wird folgende Näherungsgleichung erhalten (Binnewies et al., 2016):

$$K_S = \frac{c_{H_3O^+}^2}{c_{0HA} - c_{H_3O^+}}$$

$$c_{H_3O^+}^2 + K_S \cdot c_{H_3O^+} - K_S \cdot c_{0HA} = 0$$

Die Berechnung des pH-Wertes ergibt sich über die Anwendung des negativ dekadischen Logarithmus:

$$pH = -\lg c_{H_3O^+}$$

Das Gleichgewicht bei Protolysereaktionen starker Säuren liegt weit auf der rechten Seite. Es wird angenommen, dass die Anfangskonzentration der Säure-Moleküle der Konzentration der Oxoniumionen entspricht:

$$c_{H_3O^+} = c_{0HA}$$

$$pH = -\lg c_{0HA}$$

Dahingegen liegt das Gleichgewicht bei der Protolysereaktion einer schwachen Säure weit auf der linken Seite. Die Konzentration an dissoziierten Säuremolekülen ist somit sehr gering. Aus diesem Grund ist folgende Näherung möglich (Binnewies et al., 2016):

$$c_{0HA} - c_{H_3O^+} = c_{0HA}$$

$$K_S = \frac{c_{H_3O^+}^2}{c_{0HA}}$$

$$c_{H_3O^+} = \sqrt{K_S \cdot c_{0HA}}$$

Ändert eine Lösung bei der Zugabe einer Säure oder Base ihren pH-Wert nur wenig, wird sie als Pufferlösung bezeichnet. „Sie bestehen aus einer schwachen Säure (Base) und einem Salz dieser schwachen Säure (Base)“ (Riedel & Meyer, 2019, S. 217):

$$K_S = \frac{c_{H_3O^+} \cdot c_{A^-}}{c_{HA}}$$

$$c_{H_3O^+} = K_S \cdot \frac{c_{HA}}{c_{A^-}}$$

Die Anwendung des negativ dekadischen Logarithmus ergibt anschließend den pH-Wert. Die Gleichung wird als *Henderson-Hasselbalch-Gleichung* bezeichnet (Binnewies et al., 2016):

$$pH = pK_S + \lg \frac{c_{A^-}}{c_{HA}}$$

Tabelle 4-9 gibt einen Überblick über die dargestellten Näherungsformeln.

Tabelle 4-9: Näherungsformeln zur Berechnung der pH-Werte

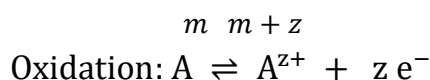
Unvollständige Protolyse	Säuren	$c_{H_3O^+} = -\frac{K_S}{2} \pm \sqrt{\frac{K_S^2}{4} + K_S \cdot c_{0HA}}$
	Basen	$c_{OH^-} = -\frac{K_B}{2} \pm \sqrt{\frac{K_B^2}{4} + K_B \cdot c_{0A^-}}$ pH = 14 - pOH
Vollständige Protolyse	Starke Säuren	pH = -lg c _{0HA}
	Starke Basen	pH = 14 - lg c _{0A⁻}
Geringe Protolyse	Schwache Säuren	$c_{H_3O^+} = \sqrt{K_S \cdot c_{0HA}}$
	Schwache Basen	$c_{OH^-} = \sqrt{K_B \cdot c_{0A^-}}$ pH = 14 - pOH
Puffer		$pH = pK_S + \lg \frac{c_{A^-}}{c_{HA}}$

Redoxreaktionen

Redoxreaktionen basieren auf Veränderungen der Oxidationszahlen von Atomen. Die Oxidationszahl oder Oxidationsstufe eines Atoms in einer Verbindung entspricht der hypothetischen Ladung des entsprechenden Atoms, wenn davon ausgegangen wird, dass die Verbindung aus Ionen aufgebaut ist (Parkin, 2006; Schweda, 2012). Die Zuweisung der Elektronen innerhalb einer Bindung erfolgt dabei gemäß einer heterolytischen Spaltung, bei der die Elektronen dem jeweils elektronegativeren Bindungspartner zugewiesen werden (Loock, 2011; Riedel & Meyer, 2019). Aufgrund der gleichen Elektronegativität erfolgt bei Bindungen zwischen gleichen Atomen eine homolytische Spaltung, bei welcher die Bindungselektronen gleichermaßen zwischen beiden Atomen aufgeteilt werden (Binnewies et al., 2016). Bei der Bestimmung der Oxidationszahl gelten dabei folgende Regeln (Binnewies et al., 2016, S. 289):

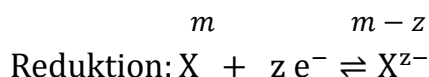
- 1) Im elementaren Zustand besitzt ein Atom die Oxidationszahl Null.
- 2) Bei einatomigen Ionen entspricht die Oxidationszahl der Ionenladung.
- 3) Mehratomige Verbindungen haben in Summe die Oxidationszahl Null.
- 4) Bei mehratomigen Ionen entspricht die Summe der Oxidationszahlen der Nettoladung der Verbindung.
- 5) Das elektronegativere Element besitzt die negative Oxidationszahl. Fluoratome haben in Verbindungen mit Atomen geringerer Elektronegativität stets die Oxidationszahl -I.
- 6) Sauerstoffatome haben meist die Oxidationszahl -II (Ausnahme in Verbindungen mit Atomen höherer oder gleicher Elektronegativität).
- 7) Wasserstoffatome haben meist die Oxidationszahl +I (Ausnahmen in Verbindungen mit Atomen geringerer Elektronegativität).

Die Oxidationszahl eines Atoms im elementaren Zustand oder in einer Verbindung ändert sich, wenn man diesem „Elektronen zuführt oder Elektronen entzieht“ (Riedel & Meyer, 2019, S. 224). Werden Elektronen abgegeben, erhöht sich die Oxidationszahl des Teilchens. Es handelt sich dabei um eine Oxidation. Oxidationsmittel haben folglich eine elektronenentziehende Wirkung (Wiberg et al., 2017).

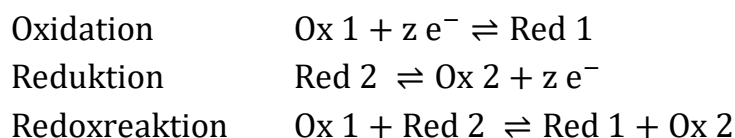


Bei der Reduktion erniedrigt sich die Oxidationszahl, da Elektronen aufgenommen werden (Riedel & Meyer, 2019). Reduktionsmittel führen bei anderen Stoffen zur

Reduktion und somit zur Elektronenaufnahme, während sie selbst oxidiert werden (Wiberg et al., 2017).



Bei einer Oxidation geht somit die reduzierte Form eines Teilchens in die oxidierte über, während bei der Reduktion die oxidierte in die reduzierte Form übergeht. Oxidierte und reduzierte Form entsprechen somit einem korrespondierenden Redoxpaar (Riedel & Meyer, 2019). Da Elektronen während einer Reaktion nicht isoliert vorkommen, sind zwei korrespondierende Redoxpaare aneinandergeschlüsselt. Elektronen, die von einem Teilchen bei einer Oxidation abgegeben werden, werden in der Reduktion von einem anderen Teilchen aufgenommen. Reaktionen, bei welchen eine Elektronenübertragung stattfindet, werden als Reduktions-Oxidations-Reaktionen oder abgekürzt Redoxreaktionen bezeichnet (Riedel & Meyer, 2019; Wiberg et al., 2017). Redoxreaktionen setzen sich aus zwei Redox-Halbreaktionen der entsprechenden Redoxpaare verallgemeinert in folgender Form zusammen (Riedel & Meyer, 2019; Wiberg et al., 2017):



Der Elektronenübergang zwischen beiden Redoxpaaren zeigt, dass ein elektrischer Strom fließt und zwischen zwei Redoxsystemen eine Spannung oder Potentialdifferenz messbar ist. Die Elektronen gehen dabei von einem System mit höherem Redoxpotential zu einem System niedrigerem Redoxpotential über (Wiberg et al., 2017). Die Tendenz von Teilchen, in die reduzierte Form überführt zu werden, steigt mit abnehmender Tendenz der korrespondierenden Form, oxidiert zu werden. Ausgehend dieser Tendenz können Redoxpaare entlang einer Redoxreihe⁷ bzw. elektrochemischen Spannungsreihe angeordnet werden, um wässrige Lösungen verschiedener Stoffe in Hinblick auf ihr Reduktions- bzw. Oxidationsvermögen zu bewerten (Riedel & Meyer, 2019; S. Wilhelm, 2008). Die reduzierende Wirkung eines Teilchens ist umso höher, je weiter oben in der Redoxreihe das entsprechende Redoxpaar steht (Riedel & Meyer, 2019). Folglich gibt ein Teilchen

⁷ Die Redoxreihe ausgewählter Redoxpaare findet sich beispielsweise in Binnewies et al. (2016, S. 298–299) oder Wiberg et al. (2017, S. 245). Die Normalpotentiale wässriger Lösungen sind in Wiberg et al. (2017) alphabetisch aufgelistet.

nur an tieferstehende Teilchen Elektronen ab und reduziert diese (Wiberg et al., 2017). Da absolute Potentialwerte eines Redoxsystems nicht messbar sind, wird jeweils die Potentialdifferenz zur Wasserstoffelektrode gemessen, welche als willkürlicher Nullpunkt der Skala festgelegt wurde (Wiberg et al., 2017).

Zur Formulierung von Redoxreaktionsgleichungen werden anhand der Oxidationszahlen der Teilchen die Teilgleichungen der elektronenabgebenden (Oxidation) und elektronenaufnehmenden (Reduktion) Reaktionen notiert und die Anzahl der jeweils übertragenen Elektronen bestimmt (Wiberg et al., 2017). Ein vorhandener Ladungsunterschied wird mit Oxoniumionen ausgeglichen, wenn die Reaktion im sauren Milieu stattfindet und mit Hydroxidionen im basischen Milieu (Riedel & Meyer, 2019). Der Stoffausgleich erfolgt anschließend mit Wasser. Vor der Zusammenführung der beiden Teilgleichungen zur Gesamtgleichung ist sicherzustellen, dass die Anzahl der aufgenommenen Elektronen mit der Anzahl der abgegebenen übereinstimmt. Dies kann durch Multiplikation der Teilgleichungen mit dem entsprechenden Faktor erreicht werden (Binnewies et al., 2016; Riedel & Meyer, 2019; Wiberg et al., 2017). Das Aufstellen der Redoxgleichung dient zum Auffinden der stöchiometrischen Beziehung der Reaktanden (Riedel & Meyer, 2019).

4.2 Erhebungsinstrumente

Die Entwicklung des Forschungsdesigns diene primär der Förderung des Fachwissens und der Erklärkompetenz der Chemie-Lehramtsstudierenden. Um die Forschungsfragen auf Grundlage dieses Designs zu beantworten, wurden entsprechende Erhebungsinstrumente konstruiert und eingesetzt. In Kapitel 4.2.1 wird zunächst die Entwicklung des Fachwissenstests beschrieben. Anschließend werden Fragebögen vorgestellt, die im weiteren Verlauf der Studie eingesetzt wurden (Kapitel 4.2.3). Kapitel 4.2.4 widmet sich abschließend den Auswertungsverfahren, welche zur Analyse der Messdaten angewendet wurden.

4.2.1 Entwicklung des Fachwissenstests

Zur Überprüfung des Lernfortschrittes und zur Beantwortung der in Kapitel 3 beschriebenen Forschungsfragen wurde ein Fachwissenstest konstruiert. Dieses sollte zur Erhebung des Vorwissens der Studierenden zu Beginn des Semesters dienen und zugleich den Wissenszuwachs am Ende des Semesters erfassen. Während der Testentwicklung wurden schwerpunktmäßig die Vorgaben zur Testkonstruktion nach Bühner (2011) sowie Bühner (2021) berücksichtigt. Zur Entwicklung eines Testentwurfs wurden vorab wesentliche Anforderungen an den Fachwissenstest festgelegt. Der Test entspricht in seiner Konzeption einem Leistungstest für Studierende in den Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie, bei welchem die Klassifikation der Antworten als richtig oder falsch erfolgt. Dadurch ließ sich das Fachwissen mithilfe objektiver Indikatoren erfassen (Bühner, 2021) und quantifizieren. Dies wurde durch das Aufsummieren der Bewertung einzelner Items erzielt. Dabei ist nach Bühner (2021) darauf zu achten, dass jeweilige Items nur ein Konstrukt messen. Die Konstruktion der Testitems erfolgte anschließend deduktiv geleitet. Im Rahmen der Itemkonstruktion wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, welche fachwissenschaftliche Aspekte sowie existierende Fachwissenstests berücksichtigt, welche einem vergleichbaren Zweck dienen. Die Auswahl der fachwissenschaftlichen Literatur orientierte sich vorwiegend an denjenigen Werken, welche grundlegend für die Inhalte der Vorlesungen sind. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass die Items dasjenige Wissen abprüfen, welches die Zielgruppe erlangen soll. Dazu wurden Fragen unterschiedlichen Anforderungsniveaus entwickelt. Da das Messinstrument einem Leistungstest entspricht, enthält jedes Testitem eine Problemstellung, die es zu lösen gilt

(Moosbrugger & Brand, 2020). Im Rahmen der Testentwicklung wurde im Wintersemester 2021/22 im Modul Allgemeine Chemie eine Präpilotstudie durchgeführt. Diese diente der thematischen Eingrenzung des Treatments sowie der Analyse der entwickelten Items zur finalen Entwicklung des Fachwissenstests. In der Präpilotstudie besuchten die Studierenden übereinstimmend zu den beiden Hauptstudien die Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie. Es erfolgte jedoch kein Treatment, sodass alle Studierenden die ergänzend angebotenen Tutorien besuchten und somit der Kontrollgruppe aus den Hauptstudien gleichkamen. Die Fragen des Fachwissenstests waren thematisch breit aufgestellt, sodass Items zu folgenden Inhalten formuliert waren:

Tabelle 4-10: Thematische Einordnung der Items im Fachwissenstest aus der Präpilotstudie

Anzahl Fragen	Inhaltliche Einordnung der Fragen
2	Säure-Base-Chemie
1	Redoxchemie
1	Chemisches Rechnen
2	VSEPR-Theorie
3	Trends im Periodensystem
1	Radioaktivität
2	Gitterstrukturen
1	Hybridisierung
1	Molekülorbitale

Nach Abschluss des Wintersemesters 2021/22 wurden die Themen Säure-Base-Chemie, Redoxchemie, VSEPR-Theorie und Trends im Periodensystem zur Weiterentwicklung des Fachwissenstests herangezogen. Es erfolgte eine erneute Literaturrecherche mit spezifischem Fokus auf die ausgewählten Themen zur Erweiterung der Untertests. Der Fokus lag dabei auf die Entwicklung freier Itemformate. Dies erfolgte in den Themenbereichen Säure-Base-Chemie, Redoxchemie und VSEPR-Theorie. Zu dem Untertest in Trends im Periodensystem wurde eine Frage im Single-Choice-Aufgabenformat (Einfachwahlaufgabe) entwickelt (Bühner, 2021). Die weiteren Fragen erforderten Antworten in Form von Kurzaufsätzen (Bühner, 2021). Der weiterentwickelte Test wurde zur Pilotierung im Sommersemester 2022 eingesetzt. Aufgrund der Limitation durch die Studienbedingungen

wurde die Pilotierung nicht im Rahmen der Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie umgesetzt, da diese ausschließlich im Wintersemester stattfindet. Die Pilotierung wurde im Zuge eines chemiedidaktischen Seminars durchgeführt, an welchen Studierende unterschiedlichen Semesters teilnehmen konnten. Anhand der erneuten empirische Erprobung des Testentwurfs wurde die Reliabilität des Testinstruments und die part-whole-korrigierten mittleren Trennschärfen der Items analysiert (Bühner, 2021; Kelava & Moosbrugger, 2020). Zur Pilotierung des Tests wurde das Fachwissen unmittelbar vor und nach einem Treatment erhoben. Das Treatment bestand in der Entwicklung eines Video-Modeling-Examples zu einem der vier ausgewählten Themen. Aufgrund begrenzter Teilnehmezahl und Seminarzeit erstellten die Studierenden lediglich ein Video. Zu den weiteren Themen erhielten sie die Aufgabe, die Videos ihrer Kommiliton:innen anzusehen und Rückmeldungen zu verfassen. Nach Durchführung des Post-Tests erfolgte die Reliabilitätsanalyse anhand der Datenlage einer Stichprobengröße von 11 Studierenden. Die Anzahl der Testitems pro Themenbereich ist Tabelle 4-11 zu entnehmen.

Tabelle 4-11: Pilotstudie – Anzahl der Items im Fachwissenstest nach thematischer Zuordnung

Themenbereich	Fragen	Anzahl Items
VSEPR-Theorie	12	32
Säure-Base-Chemie	8	14
Redoxchemie	5	17
Trends im Periodensystem	8	15

Für das gesamte Messinstrument mit 78 Items wurde eine sehr gute interne Konsistenz mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .90$ erreicht. Im weiteren Verlauf der Planung des Seminarkonzepts für die Hauptstudie wurde aufgrund zeitlicher Aspekte die Entscheidung zur Reduktion auf eine dreifache Durchführung der Intervention getroffen. Dies führte zum Ausschluss der Inhalte zu den Trends im Periodensystem, weil ohnehin ein vergleichsweise großer zeitlicher Abstand zwischen der frühen Thematisierung in der Vorlesung und der Intervention bestand. Aus diesem Grund wurde sich für die Hauptstudie auf die Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie begrenzt. Wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, wurde das Thema Trends im Periodensystem als Interventionsbeispiel herangezogen. Für den auf drei Themenbereiche reduzierten Testentwurf mit 63 Items wurde

ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .89$ erreicht. Aufgrund thematischer Überschneidung einiger Fragen sowie geringer Trennschärfen unter $.200$ wurden entsprechende Fragen entfernt. Zudem wurde auf eine ähnliche Verteilung der Itemanzahl auf die Themen geachtet (Bühner, 2011). Dies führte final zu 41 Items, welche ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .85$ aufwiesen (Tabelle 4-12).

Tabelle 4-12: Reliabilitätsstatistik in der Pilotstudie

Reliabilitätsstatistik	
Cronbachs Alpha	Anzahl Items
.854	41

Einige Items mit weiterhin geringen Trennschärfen wurden in einem letzten Schritt überarbeitet. Dazu wurden mitunter Fragen mit freiem Antwortformat zu Fragen mit gebundenem Antwortformat umformuliert (Bühner, 2021). Die Gegenüberstellung von Abbildung 4-12 und Abbildung 4-13 veranschaulicht die Transformation einer Frage im freien Aufgabenformat der Pilotstudie in ein Single-Choice-Aufgabenformat der Hauptstudie.

Aufgabe 6:

Formulieren Sie bitte jeweils zwei mesomere Grenzstrukturen für die Moleküle HNSO und FNNN.

Abbildung 4-12: Pilotstudie – Beispielaufgabe aus dem Fachwissenstest im freien Antwortformat

Hierfür wurde ausschließlich das Single-Choice-Aufgabenformat gewählt. Bei der Formulierung der Fragen wurde die Taxonomie von Bloom et al. (1956) berücksichtigt, um einen differenzierten Schwierigkeitsgrad zu gewährleisten. Dies erzielte die Differenzierung der Leistungsausprägung der Studierenden sowohl im unteren als auch im oberen Merkmalsbereich (Moosbrugger & Brand, 2020). Aus diesem Grund wurden neben Fragen bezogen auf Wissen auch Fragen in Bezug auf Anwendung und Analyse formuliert. Die Antwortalternativen wurden so formuliert, dass sie nicht die Lösung einer anderen Frage im Test beinhalten, also voneinander unabhängig waren. Zudem unterschieden sich die Antwortalternativen kaum in ihrer Länge, um keinen Hinweis auf die korrekte Antwort zu geben. In der Erstellung der Disktraktoren wurde beachtet, dass diese keine Hinweiswörter erhielten, sie nicht offenkundig falsch waren und dass sie zudem dem gleichen

Schwierigkeitsgrad entsprachen wie die korrekte Antwort (Bühner, 2021). Wie aus Abbildung 4-13 hervorgeht, wurden für jede Single-Choice-Frage neben der korrekten Antwort drei Distraktoren formuliert, um die Ratewahrscheinlichkeit zu minimieren (Bühner, 2021).

Aufgabe 4:

- a. Kreuze bitte diejenige der folgenden mesomeren Grenzstrukturformel an, welche die Bindungsverhältnisse des Moleküls FNNN **nicht** korrekt wiedergibt.
(Bitte kreuze nur eine Antwort an)

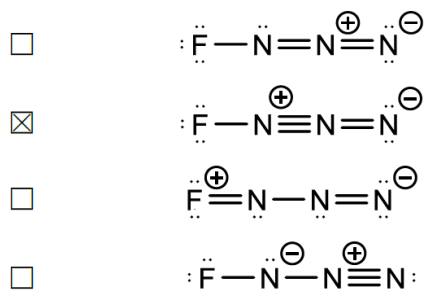


Abbildung 4-13: Hauptstudie – Beispielaufgabe aus dem Fachwissenstest im geschlossenen Antwortformat

Der Fachwissenstest beinhaltet in seiner finalen Fassung somit Single-Choice-Aufgabenformate und freie Aufgabenformate in Form von einer Ergänzungsaufgabe und von mehreren Kurzaufsätzen. Durch die Kombination aus gebundenen und freien Aufgabenformate wirken sich die Nachteile jedes Itemformats nicht auf das gesamte Messinstrument aus. Freie Itemformate haben nicht die Problematik der Ratewahrscheinlichkeit oder mangelnder Erklärfähigkeit gebundener Itemformate zur Folge. Im Gegensatz dazu besteht bei freien Itemformaten der Nachteil in aufwendigen Inhaltsanalysen, da die Auswertungsobjektivität durch erschwerte Auswertungskriterien eingeschränkt ist (Bühner, 2021). Zur Sicherstellung einer hohen Auswertungsobjektivität wurde ein Kodiermanual zur Bewertung des Fachwissenstests erstellt (Abbildung 4-14). Dieses enthielt bezogen auf die freien Itemformate mögliche Antwortalternativen und entsprechende Bewertungskriterien. Die Antwortalternativen der Pilotstudie wurden zur Konzeption des Kodiermanuals und der Ankerbeispielen herangezogen. Dieses wurde anschließend zur Bewertung der freien Antworten in der Hauptstudie eingesetzt.

a. Frage:

Definiere bitte den Begriff Reduktionsmittel.

Antwort:

maximal 1 Punkt

Substanz, die bei einer chemischen Reaktion oxidiert wird und dadurch die Reduktion einer anderen Substanz bewirkt (Mortimer et al., 2014, S. 238).	1 Punkt
Substanz, die bei einer chemischen Reaktion oxidiert wird.	0,5 Punkte
Substanz, die die Reduktion einer anderen Substanz bewirkt.	0,5 Punkte
Substanz, die reduziert wird.	0 Punkte

Ankerbeispiele:

„Reduktionsmittel verringert die Ox-zahl (Na)“	0 Punkte
„Ein Reduktionsmittel ist ein Mittel, durch welches sich die Oxidationszahl des Reaktionspartners erhöht“	0 Punkte

Abbildung 4-14: Ausschnitt Kodiermanual zur Bewertung freier Antwortformate im Fachwissenstest

In der Hauptstudie wurde zudem auf eine gleichmäßige Verteilung in der Anzahl der Items pro Themenbereich geachtet (Bühner, 2011). Die Aufteilung der Items im finalen Fachwissenstest gestaltete sich demnach wie folgt:

Tabelle 4-13: Hauptstudie – Anzahl der Items im Fachwissenstest nach thematischer Zuordnung

Themenbereich	Fragen	Anzahl Items
VSEPR-Theorie	7	14
Säure-Base-Chemie	9	12
Redoxchemie	7	13

Die Bewertung der korrekt beantworteten Items erfolgte mit einer halben oder mit einer ganzen Bewertungseinheit (BE). Im Themenbereich VSEPR-Theorie wurden maximal neun BE vergeben, in den Themenbereichen Säure-Base-Chemie und Redoxchemie jeweils maximal acht BE.

Die Formulierungen der Testitems im finalen Fachwissenstest der Hauptstudie orientierten sich an den Empfehlungen zur Itemformulierung nach Bühner (2021) und Moosbrugger und Brand (2020). Im Folgenden werden die Kriterien in Bezug auf

sprachliche Verständlichkeit skizziert. Dies gewährleistete, dass das Schwierigkeitsniveau nicht aufgrund sprachlicher Unverständlichkeiten verzerrt wurde. Aus diesem Grund wurden die Fragen klar und eindeutig formuliert, sodass sie in sich widerspruchsfrei sind (Bühner, 2021). Dazu wurden zudem doppelte Verneinungen vermieden und die Items wurden positiv formuliert (Bühner, 2021; Moosbrugger & Brand, 2020). Es wurde auf eine klare Satzkonstruktion geachtet, sodass die Formulierung langer und umständlicher Fragestellungen vermieden wurde (Moosbrugger & Brand, 2020; Porst, 2014). Um die Komplexität weiterhin gering zu halten, wurden überflüssige Fachbegriffe nicht in die Fragestellung eingebaut (Moosbrugger & Brand, 2020). Zudem wurde beachtet, dass jedes Testitem in sich geschlossen war. Dies bedeutet, dass die Antwortalternativen zu den entsprechenden Single-Choice-Aufgaben im Anschluss zur Frage präsentiert wurden (Bühner, 2021). Als weiteren Aspekt der Itemformulierung wurden wichtige Hinweise der Frage durch Fettdruck und Unterstreichen visuell hervorgehoben, wie in Abbildung 4-13 dargestellt ist.

Vor Einsatz des Fachwissenstests wurde dieser durch einen Fachdidaktiker sowie einen Fachwissenschaftler aus dem Bereich der Anorganischen Chemie auf inhaltliche Richtigkeit sowie sprachliche Verständlichkeit hin überprüft. Der finale Fachwissenstest wurde anschließend in der Hauptstudie eingesetzt. Um die Ergebnisse aus der Prä-, Post- und Follow-Up-Erhebung miteinander vergleichen und einen Lernzuwachs ermitteln zu können, wurde der Test unverändert zu den drei Testzeitpunkten eingesetzt. Da es sich bei dem Leistungstest um einen Niveautest handelt (Kelava & Moosbrugger, 2020), wurde den Studierenden ein großzügig bemessener Zeitrahmen von annähernd 45 Minuten pro Erhebung angeboten. Diese war jedoch nicht verpflichtend einzuhalten, sodass die Studierenden den Test ohne Zeitdruckempfinden durchführen konnten. Dies ist darin begründet, dass nicht die Schnelligkeit der Testperson geprüft werden sollte, sondern das Fachwissen. Zur Analyse der Schwierigkeit der einzelnen Items wird anhand der Post-Testdaten der Hauptstudie der Schwierigkeitsindex der Items ermittelt⁸(Kelava & Moosbrugger, 2020).

⁸ Die detaillierte Darstellung der Schwierigkeitsindizes ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Tabelle 4-14: Überblick zu den Schwierigkeitsindizes des Fachwissenstests

Testbereich	Schwierigkeitsindex – Spannweite	Schwierigkeitsindex – Mittelwert
Gesamt	16 – 96	58.96
VSEPR-Theorie	44 – 87	61.72
Säure-Base-Chemie	19 – 96	66.12
Redoxchemie	16 – 93	49.39

Im Mittel zeigt der Fachwissenstest einen Schwierigkeitsindex von 58.96, welches Tabelle 4-14 wiedergibt. Die Analyse der einzelnen Untertests zeigt, dass die Schwierigkeit der einzelnen Tests im vergleichbaren Rahmen liegt.

Die einzelnen Tests weisen eine mittlere Schwierigkeit auf, dennoch liegt die Spannweite der Itemschwierigkeitsindizes zwischen 16 und 96. Dies zeigt an, dass der Leistungstest sowohl Items mit geringen als auch hohen Schwierigkeiten aufweist. Diese ermöglichen die Differenzierung der Testpersonen im unteren und oberen Bereich der Merkmalsausprägung. Rost (2022) empfiehlt, viele Testitems im Testinstrument zu enthalten, die nicht extrem kleine oder große Schwierigkeitsindizes besitzen. Wie Tabelle 11-27 in Kapitel 11.6 zeigt, wurde dies in dem vorliegenden Leistungstest erzielt. Tabelle 11-27 enthält die vollständigen Daten der Schwierigkeitsanalyse. Zur weiteren Analyse des finalen Fachwissenstests wurde eine part-whole-korrigierte Trennschärfe- und Reliabilitätsanalyse⁹ der Post-Testdaten aus der Hauptstudie durchgeführt. Analog zur Schwierigkeitsanalyse wurden neben dem gesamten Test die einzelnen Subtests untersucht. Es wurde aus dem Themenbereich der Säure-Base-Chemie ein Item mit negativer Trennschärfe entfernt. Für den gesamten Fachwissenstest mit 38 Items betrug Cronbachs Alpha $\alpha = .878$ (Tabelle 4-15).

Tabelle 4-15: Reliabilitätsstatistik in der Hauptstudie

Testbereich	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
Gesamt	.878	38
VSEPR-Theorie	.761	14
Säure-Base-Chemie	.714	11
Redoxchemie	.825	13

⁹ Die detaillierte Darstellung der Reliabilitätsanalyse des Fachwissenstest ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Zur Validierung des Fachwissenstests wird die Korrelation mit der Abschlussklausur zur Vorlesung berücksichtigt. Dafür wird die erreichte Gesamtpunktzahl der Studierenden in den Teilbereichen der analytischen und anorganischen Chemie zunächst auf Normalverteilung überprüft. Der Shapiro-Wilk-Test weist mit $p = <.001$ auf fehlende Normalverteilung hin. Zur Berechnung der Korrelation wird aus diesem Grund der Spearman-Korrelationskoeffizient für non-parametrische Berechnungen herangezogen. Dieser zeigt eine moderate bis hohe positive Korrelation des residualen Lernzuwachses anhand des Fachwissenstests und der Gesamtpunktzahl in der Abschlussklausur auf, $\rho = 0.47, p = <.001$.

4.2.2 Kodiermanual zur Erfassung der Qualität schriftlicher Erklärungen

Die Erstellung schriftlicher Erklärungen dient der Förderung des Fachwissens sowie der Erklärkompetenz. Zur Erfassung des Einflusses auf das Fachwissen dient der entwickelte Fachwissenstest (Kapitel 4.2.1). Die Erklärkompetenz wird durch Methoden der quantitativen Inhaltsanalyse gemessen, um die Qualität der schriftlichen Erklärungen zu erfassen. Dies dient der Untersuchung, inwiefern das Erstellen schriftlicher Erklärungen den Wissenszuwachs steigert (Forschungsfrage 2.1) und der Analyse des Zusammenhangs zwischen Erklärkompetenz und Lernzuwachs (Forschungsfrage 4). Dazu wird ein Kodiermanual entwickelt, welches die Erklärkompetenz reliabel, valide und objektiv erfassen soll (Forschungsfrage 5). Die Vorgehensweise zur Entwicklung des Kodiermanuals und die damit verbundene Reliabilitätsanalyse werden im Folgenden genauer beschrieben.

Entwicklung des Kodiermanuals

Im Rahmen einer quantitativen Inhaltsanalyse wurden die schriftlichen Erklärungen der Studierenden untersucht, die im Rahmen der Intervention im Wintersemester 2022/23 und 2023/24 erhoben wurden. Quantitative Inhaltsanalysen dienen zur Erfassung und Quantifizierung der „Ausprägungen unterschiedlicher formaler und inhaltlicher Merkmale von Dokumenten“ mithilfe eines standardisierten Kategoriensystems (Döring, 2023, S. 545). Das Kategoriensystem bildet jene Merkmale ab, die Gegenstand der Forschungsfrage und der entsprechenden Hypothese sind. Um zu gewährleisten, dass das Kategoriensystem intersubjektiv nachzuvollziehen und demnach objektiv ist, wurde es um Definitionen und Kodieranweisungen ergänzt (Döring, 2023; Früh, 2017). Das so entwickelte Kodiermanual war das Instrument der quantitativen Inhaltsanalyse (Diaz-Bone & Weischer, 2015).

Die Entwicklung des Kategoriensystems sowie des Kodiermanuals richtete sich an den Schritten einer quantitativen Inhaltsanalyse nach Döring und Bortz (2016, S. 555–559) aus und verlief wie nachfolgend beschrieben. Anlass zum Erstellen des Kodiermanuals boten die Forschungsfragen der Studie. Da das Ziel die Bewertung der Erklärqualität schriftlicher Erklärungen darstellte, wurden die charakterisierende Merkmale von Erklärqualität in dem ersten Schritt des Entwicklungsprozesses theoriegeleitet ausgearbeitet (Döring, 2023; Früh, 2017). Dies diente zur Gewährleistung, dass das Konstrukt der Erklärkompetenz im Kodiermanual erschöpfend abgebildet wird (Seiler, 2021). Neben bestehenden Instrumenten der quantitativen Inhaltsanalyse in Bezug auf Unterrichtsplanungen und Erklärungen (Reimer & Tepner, 2025; Seiler, 2021) wurden empirische Untersuchungen bezüglich Erklärqualität zur deduktiven Entwicklung des Kategoriensystems herangezogen. In Anlehnung an Kulgemeyer (2019b), wonach Adressatenorientierung einen zentralen Aspekt der Erklärqualität widerspiegelt, wurde diese als eine der Hauptkategorien in das Kategoriensystem aufgenommen. Ein Kernelement der Adressatenorientierung stellt dabei die Anpassung der Erklärung an das Vorwissen sowie an die kognitiven Fähigkeiten dar (Wittwer & Renkl, 2008). Dazu zählt die Beachtung von Verständnisschwierigkeiten für Lernende mit geringem Vorwissen durch die Anpassung an den Wissensstand (Nückles et al., 2005; Wittwer et al., 2008). Zugleich bedarf es der Vermeidung redundanter Informationen, um eine kognitive Überlastung zu verhindern (Kulgemeyer, 2019b; Mayer & Moreno, 2003). Um eine Anpassung der Erklärung an den Wissensstand der Adressat:innen zu ermöglichen, ist es von Bedeutung, das neue Wissen in das bestehende zu integrieren (Chi et al., 1994). Als sprachliches Hilfsmittel nennen Treagust und Harrison (1999) den Einsatz teleologischer und anthropomorpher Formulierungen. Da diese jedoch Fehlvorstellungen bei den Adressat:innen hervorrufen und zugleich Fehlvorstellungen der Erklärenden widerspiegeln können, ist der Einsatz teleologischer und anthropomorpher Formulierungen mit Bedacht zu wählen (Geelan, 2012; Talanquer, 2007).

Neben der Adressatenorientierung entspricht die Strukturiertheit der Erklärung einer weiteren Hauptkategorie des Kategoriensystems. Als einen Aspekt der Strukturiertheit ist zur Verdeutlichung der Relevanz das Anführen der Zielvorstellungen entscheidend (Heinze, 2022; Helmke, 2014; A. Wagner & Wörn, 2011). Weitere strukturierende Elemente einer Erklärung stellen der schrittweise Aufbau und die Befolgung eines roten Fadens dar. Dazu zählen der Einsatz kausaler Konnektoren, die Darstellung von Zusammenhängen einzelner Schritte sowie der sinnvolle Aufbau dieser (Helmke, 2014; Kulgemeyer, 2019b; Schopf & Zwischenbrugger,

2015). Ein weiteres Qualitätskriterium bezüglich der Strukturiertheit ist die Einbettung einer Zusammenfassung in Form einer kurzen Wiederholung relevanter Aspekte am Ende einer Erklärung (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Als dritte Hauptkategorie werden fachliche Aspekte der Erklärung analysiert. Primär sind dabei die fachliche Korrektheit sowie die Vollständigkeit der Inhalte von Bedeutung (Heinze, 2022; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Inhaltlich stellt ein Qualitätsmerkmal von Erklärungen die Fokussierung auf Konzepte und Prinzipien dar (Kulgemeyer, 2019b; Wittwer & Renkl, 2008). Dies dient zum Erlangen eines tiefgreifenden Verständnisses sowie prozeduraler Fähigkeiten (Wittwer & Renkl, 2008). Damit verbunden ist auch der Einsatz von Fachbegriffen, um fachsprachliche sowie fachwissenschaftliche Fähigkeiten zu vermitteln (Heinze, 2022; Rincke, 2010). Der Einsatz von Fachbegriffen sowie die Erklärung von chemischen Konzepten erfordert den korrekten Wechsel zwischen den Darstellungsebenen der makroskopischen und submikroskopischen Ebene innerhalb der Erklärung (Geelan, 2012; Sevian & Gonsalves, 2008).

Nach der deduktiven Herleitung des Kategoriensystems wurden zur quantitativen Inhaltsanalyse die Merkmalsausprägungen jeder Kategorie festgelegt. Es wurde dabei auf die „Kriterien der Genauigkeit, Exklusivität und Exhaustivität“ geachtet (Döring, 2023, S. 549). Exklusivität gewährleistet, dass sich die Ausprägungen gegenseitig ausschließen, während Exhaustivität sicherstellt, dass die Merkmalsausprägungen das zu untersuchende Merkmal vollständig beschreiben (Döring, 2023). Die Ausprägungen wurden in das Kodiermanual übernommen und jeder Ausprägung wurde ein numerischer Wert zugeordnet. Tabelle 4-16 verdeutlicht die Festlegung der Kategorienausprägung in Verbindung mit der Zuweisung des numerischen Wertes. Neben dichotomen Merkmalen mit den Ausprägungen 0 und 1, sind zudem polytome Merkmale mit mehr als zwei Ausprägungen enthalten. Die Codes stehen dabei in einem Verhältnis zueinander, sodass ein höherer Punktwert einer höheren Qualität der Ausarbeitung entspricht (Früh, 2017). Des Weiteren wird in den Kategorien 1.2, 2.2, 2.5 sowie 3.3 die Ausprägung 77 ergänzt. In Anlehnung an das Kategoriensystem nach Seiler (2021) erfolgte die Kodierung dieser Ausprägung, sofern eine Einschätzung der Kategorie in Bezug auf die schriftliche Erklärung nicht möglich war (Tabelle 4-16).

Tabelle 4-16: Ausschnitt des Kategoriensystems zur Kategorie „1.2 Passung in Bezug auf die Problemstellung“

Code	Ausprägung
77	In der Ausarbeitung ist keine Problemstellung eingebaut bzw. es findet sich nur eine Nennung des Themas.
0	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut, auf die im Laufe der Erklärung kein Bezug genommen wird und die dadurch nicht gelöst wird.
1	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut, welche im Laufe der Erklärung teilweise gelöst wird.
2	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut, welche im Laufe der Erklärung vollständig gelöst wird.

Das Kodiermanual wurde weiterhin mit Definitionen und Beschreibungen der Kategorien unter Einbezug des theoretischen Hintergrunds und Hinweisen zum Kodieren ergänzt (Früh, 2017). Die Hinweise enthielten die Kodieranweisungen und Bemerkungen zur klaren Differenzierung zu den Ausprägungen (Früh, 2017). Der Theoriebezug der Kategorien stellt nach Döring (2023) ein Validitätskriterium des Kategoriensystems dar. Des Weiteren wurde das gesamte Kodiermanual um die Zielvorstellungen, eine Beschreibung der Messdaten und um allgemeine Kodieranweisungen ergänzt (Döring, 2023).

Die Überarbeitung der Kategorien und der entsprechenden Ausprägungen verlief in einem nächsten Schritt induktiv anhand ausgewählter Daten (Döring & Bortz, 2016). Es wurden dabei die Daten jeweils eines/r Studierenden aus beiden Interventionsgruppen der Hauptstudie ausgewählt. Da die Studierenden jeweils eine schriftliche Erklärung zu den drei Themen erstellt haben, wurden zur induktiven Überarbeitung sechs Ausarbeitungen herangezogen. Dies diente der Sicherstellung, dass das finale Kodiermanual auf jedes der drei Themen der Intervention anwendbar ist. Die Überarbeitung verlief im Rahmen der Zulassungsarbeiten von Königseder (2025), Kremer (2024) und Weinbrenner (2024). Die induktive Überarbeitung bezog sich auf die Überprüfung der Vollständigkeit der Kategorien durch Kremer (2024). Die Passung der bestehenden Kategorien wurde durch Weinbrenner (2024) untersucht, indem überprüft wurde, ob bestehende Kategorien in den Daten kaum vorkommen oder nicht kodierbar sind (Döring, 2023). Königseder (2025) untersuchte die Ausprägungen der bestehenden Kategorien. Bei

der Überarbeitung wurde stets die Validität des Kodiermanuals berücksichtigt. Neben der Überarbeitung der Kategorien und den Ausprägungen, wurden die Kodieranweisungen präzisiert und als Hilfestellung zum späteren Kodieren wurden Ankerbeispiele aus dem Beispielmateriale hinzugefügt. Vor Revision des Kodiermanuals wurde das bestehende Kategoriensystem zur Gewährleistung der Validität von der Leitung der Chemiedidaktik an der Universität Regensburg überprüft. Der Pretest und die Revision verliefen nach einer Schulung der drei Kodiererinnen (Döring & Bortz, 2016). Sie erhielten erneut die Daten jeweils eines/r Studierenden beider Interventionsgruppen, sodass sechs Ausarbeitungen für den Pretest herangezogen wurden. In Form einer gemeinsamen Besprechung der drei Kodiererinnen und der Autorin dieser Arbeit wurden die Ergebnisse des Pretests und die Rückmeldungen bezüglich des Kodierens in das Kodiermanual eingearbeitet. Die Kodieranweisungen wurden präzisiert, weitere Beispiele wurden aufgenommen und die Kategorienausprägungen wurden klarer voneinander abgegrenzt. Das vorläufige Kategoriensystem bestand final aus 18 Unterkategorien. Das überarbeitete Kategoriensystem wurde anschließend zur Reliabilitätsanalyse eingesetzt. Zuvor erfolgte eine erneute Kodiererinnenschulung anhand das überarbeiteten Kodiermanuals. Den drei Kodiererinnen wurden in einer gemeinsamen Schulung erneut die einzelnen Kategorien mit Kodieranweisungen und weiteren Hinweisen vorgestellt. Dies stellt die Voraussetzung einer invarianten Kodierung durch unabhängige Kodierende dar, welche nicht auf intuitiven Entscheidungen beruht (Früh, 2017). Dazu wurden die Ankerbeispiele zur Verdeutlichung herangezogen. Da die Kodiererinnen, die die Reliabilitätsanalyse durchgeführt hatten, zugleich auch für die Kodierung im Pretest verantwortlich waren, wurde auf eine erneute Kodierung von Beispieldokumenten wie von Döring und Bortz (2016) vorgeschlagen im Rahmen der Kodiererschulung verzichtet. Die anschließende Reliabilitätsanalyse, die sich an die Kodiererschulung anschloss und zur Finalisierung des Kategoriensystems führte, wird nachfolgend genauer beschrieben.

Reliabilitätsanalyse und Finalisierung des Kodiermanuals

Die Reliabilitätsanalyse dient dazu, eine Aussage bezüglich der Güte des Kodiermanuals treffen zu können (Früh, 2017). Neben der Inter-Kodierer-Reliabilität, welches die Übereinstimmung mehrerer Kodierenden hinsichtlich derselben Daten überprüft, ist auch die Messung der Intra-Kodierer-Reliabilität möglich (Döring, 2023). Hierzu wird die Übereinstimmung desselben Kodierenden hinsichtlich derselben Daten mit zeitlichem Abstand überprüft, um die Reliabilität der Kodierung über einen längeren Zeitraum zu gewährleisten. Die Intra-Kodierer-Reliabilität

wird nach Früh (2017) bedarfsweise gemessen, während die Analyse der Inter-Kodierer-Reliabilität hingegen unverzichtbar ist. Entscheidend für die vorliegende Arbeit ist die Untersuchung der Inter-Kodierer-Reliabilität. Die Reliabilitätsprüfung der einzelnen Kategorien orientiert sich dabei an Döring (2023). Dazu werden im Regelfall 10-20 % des Untersuchungsmaterials genutzt. Zur vorliegenden Reliabilitätsanalyse wurden 30 schriftliche Ausarbeitungen von zehn Studierenden der Hauptstudie verwendet. Es wurden keine der Daten verwendet, die zur Entwicklung des Kodiermanuals dienten. Die Daten wurden gleichermaßen aus beiden Interventionsgruppen ausgewählt, zudem entsprachen jeweils zehn Daten einem der Themen (Tabelle 4-17).

Tabelle 4-17: Verteilung der Daten für die Reliabilitätsanalyse

	Interventionsgruppe 1	Interventionsgruppe 2	Gesamt
Redoxchemie	5	5	10
Säure-Base-Chemie	5	5	10
VSEPR-Theorie	5	5	10
Gesamt	15	15	30

Aus Hauptstudie 1 liegen jeweils 39 Daten aus beiden Interventionsgruppen vor. Aus Hauptstudie 2 liegen 81 Daten aus Interventionsgruppe 1 und 93 Daten aus Interventionsgruppe 2 vor. Insgesamt entspricht dies einer Datenmenge von 252 schriftlichen Erklärungen. Damit wurden über 11 % der vorliegenden Daten zur Reliabilitätsanalyse verwendet. Die Daten wurden von jeweils drei Kodiererinnen unabhängig voneinander kodiert.

Wie zuvor beschrieben entspricht ein höherer Code einer höheren Ausprägung des Merkmals, sodass die Codes in einer Rangfolge zueinanderstehen. Damit besitzen die einzelnen Kategorien ein ordinales Skalenniveau, da die Differenzen in den Ausprägungen nicht definiert sind und somit keiner Intervallskala entsprechen (Früh, 2017). Aufgrund des ordinalen Skalenniveaus und der Anzahl der Kodiererinnen wird als Reliabilitätskoeffizient Krippendorffs Alpha verwendet (Krippendorff, 2004b, 2011). Der Wertebereich verläuft dabei von -1 bis 1, wobei der Wertebereich zwischen 0 und 1 zur Analyse der Reliabilität herangezogen wird (Krippendorff, 2011). Ist $\alpha < 0$, ist die beobachtete Übereinstimmung geringer als die zufällig erwartete, was auf einen systematischen Fehler in der Übereinstimmung

beruht (Krippendorff, 2011). Entspricht $\alpha = 0$, dann ist keine Reliabilität vorhanden und die beobachteten Übereinstimmungen der Kodierenden entspricht der rein zufällig erwarteten Übereinstimmung (Krippendorff, 2011). Entspricht $\alpha = 1$, ist eine vollständige Übereinstimmung und somit eine perfekte Reliabilität vorhanden. Folgende Grenzen sind zur Interpretation des Krippendorff Alpha-Koeffizienten geeignet:

Tabelle 4-18: Wertebereiche zur Interpretation des Krippendorff Alpha-Koeffizienten nach Krippendorff (2004a)

Krippendorffs Alpha	Interpretation
$\alpha \geq .800$	Sehr gute Reliabilität
$.800 > \alpha \geq .667$	Akzeptable Reliabilität
$.667 > \alpha$	Unzureichende Reliabilität

Neben dem Reliabilitätskoeffizienten Krippendorffs Alpha wird die prozentuale Übereinstimmung zwischen den Kodiererinnen als einfacher Übereinstimmungskoeffizient angegeben (Wirtz & Caspar, 2002). Die beobachtete Übereinstimmung entspricht dabei der tatsächlich erzielten Übereinstimmung, während die erwartete Übereinstimmung denjenigen Anteil beschreibt, der rein zufällig zu erwarten wäre. Die Berechnung des Reliabilitätskoeffizienten erfolgte in R-Studio mit dem Paket „DescTools“ (Signorell, 2024). Es wurden dazu die Inter-Kodierer-Reliabilitäten der einzelnen Unterkategorien und der gesamten Skala analysiert. In Tabelle 4-19 sind die Werte des Krippendorffs Alpha-Koeffizienten und die entsprechenden prozentualen Übereinstimmungen abgebildet.

Tabelle 4-19: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Reliabilitätsanalyse I

Kategorie	Krippendorffs Alpha	Prozentuale Übereinstimmung (beobachtet)	Prozentuale Übereinstimmung (erwartet)
Gesamtskala	.822	72.7 %	24.5 %
1.1	.547	78.0 %	51.2 %
1.2	.600	82.4 %	61.4 %
1.3	.759	86.8 %	63.3 %
1.4	.505	56.0 %	39.3 %

1.5	.897	97.8 %	78.5 %
1.6	.259	60.4 %	44.9 %
2.1	.809	70.3 %	36.3 %
2.2	.643	61.5 %	38.9 %
2.3	.284	80.2 %	72.2 %
2.4	.610	50.6 %	28.9 %
2.5	.387	46.2 %	27.6 %
2.6	-.006	97.8 %	97.8 %
2.7	.312	47.3 %	37.7 %
2.8	.130	69.2 %	65.2 %
3.1	.581	82.4 %	64.5 %
3.2	.647	62.6 %	38.4 %
3.3	.076	86.8 %	85.7 %
3.4	-.006	97.8 %	97.8 %

Wie aus Tabelle 4-19 hervorgeht, erreicht die gesamte Skala eine sehr gute Reliabilität mit $\alpha = .822$. Daneben konnten auch in den Kategorien 1.5 sowie 2.1 sehr gute Reliabilitäten und in der Kategorie 1.3 eine akzeptable Reliabilität erreicht werden (grün markierte Spalten). Die übrigen Kategorien erreichen nur ungenügende Reliabilitäten, wobei die prozentuale Übereinstimmung in einigen Kategorien hoch ist. Besonders auffällig sind dabei die Kategorien 2.6 und 3.4, die negative Reliabilitätskoeffizienten zeigen, jedoch erreichen die Kodiererinnen eine prozentuale Übereinstimmung über 97 %. Dies ist auf die geringe Varianz in den Kodierungen und folglich in den Untersuchungsobjekten zurückzuführen (Wirtz & Caspar, 2002). Aus diesem Grund wird neben dem Reliabilitätskoeffizienten die prozentuale Übereinstimmung angegeben, die zeigt, dass die beobachtete Übereinstimmung zwischen den Kodierenden mit 97.8 % sehr hoch ist.

Da die Reliabilitätsanalyse jedoch bei den meisten Kategorien auf eine unzureichende Übereinstimmung hindeutet, werden die Ergebnisse in Tabelle 4-19 zur Überarbeitung des Kodiermanuals hinzugezogen. Dazu wurden die Ausprägungen der Kategorien überarbeitet, indem diese präzisiert wurden. In einigen Kategorien wurden die Ausprägungen reduziert, indem zwei Ausprägungen zusammengefasst wurden. Die Ausprägungen in den Kategorien 2.2 und 2.3 wurden umformuliert und die Anzahl der Ausprägungen wurde erhöht. In allen Kategorien wurden weitere Beispiele hinzugenommen, um die Kodierung zu unterstützen. Es wurden bei Bedarf Hinweise zu den Kategorien ergänzt, um Unklarheiten vorzubeugen. Im Rahmen einer erneuten Kodiererinnenschulung wurden die Veränderungen mit

den Kodiererinnen anhand der Beispiele besprochen. Uneinigkeiten in den Kodierungen wurden anhand der Daten aufgedeckt und als Anlass zur Ergänzung von Hinweisen genommen. Es wurden keine Kategorien entfernt oder ergänzt. Die Übersicht zum finalen Kategoriensystem mit der überarbeiteten Anzahl an Codes ist Tabelle 4-20 zu entnehmen.

Tabelle 4-20: Kategoriensystem zur Analyse schriftlicher Erklärungen

Kategorien	Anzahl Codes
Strukturiertheit	
1.1 Zielklarheit	0, 1
1.2 Passung in Bezug auf die Problemstellung	0, 1, 2, 77
1.3 Zusammenfassung	0, 1
1.4 Schrittweiser Aufbau	0, 1, 2
1.5 Roter Faden	0, 1, 2
1.6 Kohärenz	0, 1, 2
Fachliche Aspekte	
2.1 Inhaltliche Vollständigkeit	0, 1
2.2 Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt	0, 1, 2, 3, 77
2.3 Fachliche Korrektheit bezogen auf die Aufgaben	0, 1, 2, 3
2.4 Konzepte, Regeln und Prinzipien (Breite)	0, 1, 2
2.5 Detailliertheit der Beschreibung (Tiefe)	0, 1, 2, 77
2.6 Passende Fachbegriffe (Breite)	0, 1, 2
2.7 Definition der Fachbegriffe (Tiefe)	0, 1, 2
2.8 Stoff-/Teilchenebene	0, 1
Adressatenorientierung	
3.1 Vorwissen	0, 1
3.2 Elaboration	0, 1, 2
3.3 Beschränkung auf wesentliche Informationen	0, 1, 2, 77
3.4 Anthropomorphe und teleologische Formulierungen	0, 1

Im Anschluss an die Schulung erhielten die Kodiererinnen jeweils 36 schriftliche Ausarbeitungen, welche sie im Rahmen einer erneuten Reliabilitätsanalyse mit dem überarbeiteten Kodiermanual untersuchen sollten. Die neue Datenmenge entsprach über 14 % der Gesamtdatenmenge. Es wurden erneut keine Ausarbeitungen verwendet, die im Rahmen der Kodiermanualentwicklung eingesetzt wurden. Die Ausarbeitungen wurden gleichmäßig aus den Interventionsgruppen und den Themenfeldern ausgewählt (Tabelle 4-17). Im Rahmen des zweiten Durchlaufs der

Reliabilitätsanalyse wurden die ausgewählten schriftlichen Erklärungen neben den drei bestehenden Kodiererinnen auch durch die Autorin der vorliegenden Arbeit kodiert. Es wurde erneut die Inter-Koder-Reliabilitäten der Gesamtskala ermittelt. Der Krippendorffs-Alpha-Koeffizient und die prozentualen Übereinstimmungen wurden dabei zwischen den vier Kodiererinnen und zusätzlich zwischen jeweils drei Kodiererinnen analysiert. Die entsprechenden Werte sind der Tabelle 4-21 zu entnehmen.

Tabelle 4-21: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Gesamtskala der Reliabilitätsanalyse II

Rater 1-2-3-4	Krippendorffs Alpha	Prozentuale Übereinstimmung (beobachtet)	Prozentuale Übereinstimmung (erwartet)
1-2-3-4	.794	73.9 %	28.6 %
1-2-3-/ /-2-3-4	.798	75.2 %	28.7 %
1-/-3-4	.781	71.7 %	28.5 %
1-2-/-4	.792	73.5 %	28.3 %
	.803	75.2 %	28.7 %

Die Übereinstimmung zwischen den vier Kodiererinnen liegt mit Krippendorffs Alpha von $\alpha = .794$ in einem akzeptablen Bereich. Die Reliabilitätsanalyse zwischen jeweils drei Kodiererinnen zeigt ähnliche Werte, sodass keine Kodiererin von weiteren Kodierungen ausgeschlossen werden muss. Die Inter-Koder-Reliabilitätsstatistik zwischen den vier Kodiererinnen der einzelnen Unterkategorien wird in Tabelle 4-22 wiedergegeben.

Tabelle 4-22: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Unterkategorien der Reliabilitätsanalyse II

Kategorie	Krippendorffs Alpha	Prozentuale Übereinstimmung (beobachtet)	Prozentuale Übereinstimmung (erwartet)
1.1	.761	88.5 %	51.6 %
1.2	.570	85.7 %	67.3 %
1.3	.898	95.4%	54.6 %
1.4	.214	75.2 %	70.5 %
1.5	.654	76.1 %	53.2 %

1.6	.511	71.5 %	47.3 %
2.1	.658	83.4 %	51.4 %
2.2	.355	46.2 %	36.7 %
2.3	.435	49.4 %	33.3 %
2.4	.617	74.7 %	47.4 %
2.5	.435	69.2 %	53.4 %
2.6	.818	85.3 %	43.5 %
2.7	.443	60.5 %	44.8 %
2.8	.396	75.2 %	58.7 %
3.1	-.041	91.7 %	92.0 %
3.2	.567	69.7 %	47.0 %
3.3	.314	56.8 %	47.6 %
3.4	.179	78.9 %	74.1 %

Wie Tabelle 4-22 zu entnehmen ist, entspricht Kategorie 1.1 (*Zielklarheit*) einer akzeptablen Reliabilität, während die Kategorien 1.3 (*Zusammenfassung*) und 2.6 (*Passende Fachbegriffe (Breite)*) sehr gute Reliabilitäten zeigen (grün markierte Spalten). Die zuvor in Kategorie 2.6 festgestellte negative Reliabilität konnte durch die vorgenommenen Modifikationen und die Nachschulung deutlich verbessert werden. Die Krippendorffs Alpha-Koeffizienten der Kategorien 1.5 (*Roter Faden*) und 2.1 (*Inhaltliche Vollständigkeit*), die zuvor akzeptable Reliabilitäten aufwiesen, verfehlen den Grenzwert nach Krippendorff (2004a) von $\alpha = .667$ knapp (orange markierte Spalten). Die prozentualen Übereinstimmungen zeigen mit 76.1 % und 83.4 % dennoch eine hohe beobachtete Übereinstimmung der Kodierinnen an. Die geringen prozentualen Übereinstimmungen in den Kategorien 2.2 (*Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt*) und 2.3 (*Fachliche Korrektheit bezogen auf die Aufgaben*) deutet auf unterschiedliche fachliche Kompetenzen der Kodierinnen hin, da in beiden Kategorien fachliche Fehler der schriftlichen Erklärungen kodiert werden. Da jede weitere Erklärung neue fachliche Fehler birgt und diese nicht in einer weiteren Nachschulung vorhergesagt werden können, wird von einer erneuten Schulung abgesehen. Aufgrund der Unabdingbarkeit der Bewertung des fachlichen Aspektes der Ausarbeitungen, werden beide Kategorien weiterhin beibehalten. Kategorie 3.1 (*Vorwissen*) weist einen Krippendorffs Alpha von $\alpha = -.041$ und eine sehr hohe prozentuale Übereinstimmung von 91.7 % auf. Eine nähere Analyse zeigt bei dem Ausschließen der Autorin in den Berechnungen einen Krippendorffs Alpha von $\alpha = 1.0$, was auf eine systematische Unstimmigkeit zwischen der Autorin und den drei Kodierinnen hindeutet. Daraus kann gefolgert

werden, dass die Kodierung in Bezug auf die Kategorie 3.1 nicht der Intention der Autorin entspricht.

Da die Gesamtskala eine nahezu sehr gute Reliabilität aufweist und die prozentualen Übereinstimmungen der Unterkategorien zufriedenstellend sind, wird das Kodiermanual zur weiteren Analyse der schriftlichen Erklärungen eingesetzt. Einzelne Kategorien mit geringerer Reliabilität (z. B. 2.7, 2.8, 3.3) wurden dennoch beibehalten, da die Gesamtskala insgesamt eine ausreichende Güte aufweist. Es erfolgte lediglich eine Nachschulung der Kategorie 3.1, da hier eine Unstimmigkeit zwischen Autorin und Kodiererinnen festgestellt werden konnte. Im Rahmen einer finalen Reliabilitätsanalyse, wurden 45 Daten der übrigen 216 Ausarbeitungen doppelt kodiert, während die restlichen 171 Daten einfachkodiert wurden. Dies entspricht einer Doppelkodierung über 20 % der Gesamtdatenmenge, die ausschließlich über die Autorin erfolgt. Die Ergebnisse der finalen Reliabilitätsanalyse finden sich zusätzlich zu den Ergebnissen in Bezug auf die Forschungsfragen 4 und 5 in Kapitel 5.3.3.

4.2.3 Weitere Erhebungsinstrumente

Das folgende Kapitel widmet sich der Vorstellung der Erhebungsinstrumente, die neben dem Fachwissenstest in der vorliegenden Studie eingesetzt wurden. Um weitere Daten der Studierenden zu erheben, wurden geeignete Fragebögen verwendet. Tabelle 4-23 bietet eine Übersicht zu den Messinstrumenten. Diese werden im Anschluss näher beschrieben.

Tabelle 4-23: Übersicht der verwendeten Erhebungsinstrumente

Erhebungsinstrument	Messzeitpunkt	Studienzeitpunkt	Anzahl Items	Autor:in
Fachwissenstest	Prä	Präpilotstudie	30	Eigene Entwicklung
	Post	Pilotstudie	79	
	Follow-Up (HS)	Hauptstudie	39	
Demografische Daten	Prä	Präpilotstudie	9	Eigene Entwicklung: In Anlehnung an Freyer (2013)
		Hauptstudie	15	
Selbsteinschätzung	Prä	Präpilotstudie	13	Adaptiert nach Freyer (2013)
		Hauptstudie	13	
Selbstwirksamkeitserwartung	Prä	Hauptstudie	6	Adaptiert nach Abele et al. (2000)
	Post			
Studienzufriedenheit	Post	Präpilotstudie	9	Westermann et al. (2018)
		Hauptstudie	9	
Aktuelle Motivation	Prä	Präpilotstudie	14	Adaptiert nach Rheinberg et al. (2001)
	Post	Hauptstudie	14	
Situationales Interesse	Intermediär	Hauptstudie	10	Adaptiert nach van Vorst (2013)
Allgemeine Mediennutzung	Prä	Hauptstudie	8	Vennemann et al. (2021)
Lernbezogene Mediennutzung	Prä	Hauptstudie	14	Adaptiert nach Vennemann et al. (2021)

Demografische Daten

Die demografischen Daten der Studierenden wurden zu Beginn des Semesters erhoben, um eventuelle Kontrollvariablen zu erfassen. Der dafür eingesetzte Fragebogen wurde nach Freyer (2013) adaptiert und enthielt in der Endfassung 15 Items. Davon bezogen sich zwei Items auf persönliche Angaben. Des Weiteren wurde um Angaben bezüglich des Studiums (vier Items), der Hochschulreife (sieben Items) und zum bisherigen Bildungsweg (zwei Items) gebeten (Tabelle 4-24).

Tabelle 4-24: Erhobene demografische Angaben der Studierenden

Kategorie	Items	Anzahl Items
<i>Angaben zum Studium</i>	Studiengang Fachsemester Besuch eines Vorkurses Wunschstudium	4
<i>Persönliche Angaben</i>	Geschlecht Geburtsjahr	2
<i>Angaben zur Hochschulreife</i>	Jahr Land Bundesland Schulart Chemie in der Oberstufe Abiturprüfung in Chemie Abiturgesamtnote	7
<i>Angaben zum bisherigen Bildungsweg</i>	Vorangegangenes Studium Vorangegangene Berufsausbildung	2

Selbsteinschätzung

Im Rahmen des Prä-Tests wurde neben den demografischen Daten zudem die Selbsteinschätzung der Studierenden bezüglich chemiespezifischer und -unspezifischer Studienaspekte erfragt. Der von Freyer (2013) entwickelte Fragebogen zur Selbsteinschätzung wurde zu diesem Zweck angepasst und eingesetzt. Die Subkategorie nach Freyer (2013) bezüglich „Experimentbezogene Fähigkeiten“ wurde nicht übernommen, da der Fragebogen an die Intervention der vorliegenden Studie adaptiert wurde. Da die Förderung „Experimentbezogener Fähigkeiten“ nicht Bestandteil der Studienordnung der Universität Regensburg im Chemie-Lehramtstudium im ersten Semester ist, wurden die entsprechenden Items gekürzt. Es wurden

sechs weitere Items der Subskalen „Chemiebezogene Fähigkeiten“ und „Allgemeine (studienrelevante) Fähigkeiten“ entfernt, welche ebenfalls nicht Bestandteil der Studienordnung im ersten Semester des Chemie-Lehramtstudiums entsprechen. Die Entfernung der Items beruht auf inhaltlichen Gründen und auf den zeitlichen Rahmenbedingungen, in welchen die Erhebung erfolgte. Um den Studierenden mehr Zeit für die Bearbeitung des Fachwissenstests zu ermöglichen, wurde der zeitgleich erhobene Fragebogen zur Selbsteinschätzung reduziert. Die Items 8 und 19 aus dem Fragebogen nach Freyer (2013, S. 68) wurden zudem umformuliert.

Tabelle 4-25: Übersicht zur Umformulierung der Items aus dem Fragebogen zur Selbsteinschätzung nach Freyer (2013)

Ursprüngliche Items	Umformulierte Items
Item 8: <i>Auch wenn ich mal viel zu tun habe, schaffe ich es, alles ordentlich und rechtzeitig zu erledigen.</i>	Item 7: <i>Ich kann die mir zur Verfügung stehende Zeit effektiv nutzen.</i>
Item 19: <i>Ich kann mir neue chemische Inhalte mit entsprechender Fachliteratur aneignen.</i>	Item 6: <i>Ich kann mir neue chemische Inhalte selbstständig aneignen.</i> Item 12: <i>Ich nutze Fachliteratur, um Wissenslücken zu schließen.</i>

Zusätzlich wurde ein weiteres Item zur räumlichen Vorstellung von Molekülen hinzugenommen, um neben der Selbsteinschätzung zur Säure-Base-Chemie (Item 3) und Redoxchemie (Item 4) die VSEPR-Theorie zu vertreten. Der finale Fragebogen zur Selbsteinschätzung enthielt 13 Items. Die Einschätzung bezüglich der Items erfolgt mithilfe einer vierstufigen Likert-Skala von „*Stimme gar nicht zu*“ (1) bis „*Stimme voll und ganz zu*“ (4). Für die Auswertung der Skala wurden die Rohdaten rekodiert, sodass ein höherer Wert einer höheren Selbsteinschätzung entspricht. Die Reliabilitätsanalyse¹⁰ bezüglich der eingesetzten Skala zur Erhebung der Selbsteinschätzung ergab in der Hauptstudie ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .74$ (Tabelle 4-26).

¹⁰ Die detaillierte Darstellung der Reliabilitätsanalysen der Kovariablen ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Tabelle 4-26: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala Selbsteinschätzung

Reliabilitätsstatistik	
Cronbachs Alpha	Anzahl Items
.74	13

Selbstwirksamkeitserwartungen

Die Erhebung der Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden erfolgte anhand des Fragebogens nach Abele et al. (2000). Der ursprüngliche Fragebogen bezieht sich auf berufliche Selbstwirksamkeitserwartung, welche für die Zielgruppe der Studierenden entsprechend umformuliert wurde. Der Fragebogen soll somit die Selbstwirksamkeitserwartung hinsichtlich des Studiums in Bezug auf die Vorlesungsbereiche der Analytischen und Anorganischen Chemie erfassen. Er umfasst sechs Items, welche ebenfalls auf einer vierstufigen Skala bewertet werden sollten (Tabelle 4-27). Der Fragebogen wurde im Rahmen eines Prä- und Post-Tests in der Hauptstudie erhoben, um die Veränderung bezüglich der Selbstwirksamkeitserwartung im Verlauf des Semesters zu erfassen.

Tabelle 4-27: Auszug der Items bezüglich der Selbstwirksamkeitserwartung im Studium

Selbstwirksamkeitserwartungen: Bitte gib deine Einschätzung zu folgenden Aussagen in Bezug auf die Vorlesungsbereiche Analytik und Anorganik an.		
Item	Formulierung	Likert-Skala
SE_1	<i>Ich weiß genau, dass ich die an mein Studium gestellten Anforderungen erfüllen kann, wenn ich nur will.</i>	(stimme zu – eher zu – eher nicht zu – stimme nicht zu)
SE_2	<i>Ich weiß nicht, ob ich die für mein Studium erforderlichen Fähigkeiten wirklich habe.</i>	
SE_3	<i>Ich weiß nicht, ob ich genügend Interesse für die mit meinem Studium verbundenen Anforderungen habe.</i>	

Für die Auswertung hinsichtlich der Selbstwirksamkeitserwartung wurden die positiv formulierten Items umgepolt, sodass ein höherer Wert bei allen Items einer höheren Selbstwirksamkeitserwartung entspricht. Im Prä-Test ergab sich ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .68$, während im Post-Test ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .71$ erfasst wurde (Tabelle 4-28).

Tabelle 4-28: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala Selbstwirksamkeitserwartung

Messzeitpunkt	Reliabilitätsstatistik	
	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
Prä-Test	.67	6
Post-Test	.71	6

Studienzufriedenheit

Die Studienzufriedenheit würde am Ende des Semesters im Rahmen des Post-Tests erhoben. Die erhobene Skala zur Studienzufriedenheit wurde von Westermann et al. (2018) übernommen. Der Fragebogen umfasst neun Items, die anhand einer vierstufigen Likert-Skala mit „Ich stimme zu“ (1) bis „Ich stimme nicht zu“ (4) erhoben wurden (Tabelle 4-29). Die Studierenden sollen ihre Einschätzung zu jedem Item bezüglich der Vorlesungsbereiche der Analytischen und Anorganischen Chemie angeben.

Tabelle 4-29: Auszug der Items bezüglich der Studienzufriedenheit

Studienzufriedenheit:		
Bitte gib deine Einschätzung zu folgenden Aussagen in Bezug auf die Vorlesungsbereiche Analytik und Anorganik an.		
Item	Formulierung	Likert-Skala
Z_1	<i>Ich habe richtig Freude an dem, was ich studiere.</i>	(stimme zu – eher zu – eher nicht zu – stimme nicht zu)
Z_2	<i>Insgesamt bin ich mit meinem jetzigen Studium zufrieden.</i>	
Z_3	<i>Ich finde mein Studium wirklich interessant.</i>	

Bezüglich der Studienzufriedenheit wurde die Reliabilität der Ergebnisse, die im Rahmen der Post-Erhebung erfasst wurden, analysiert. Vorab wurden die entsprechenden Items umgepolt, sodass ein höherer Wert (4) einer höheren Studienzufriedenheit entsprach. Die Reliabilitätsanalyse ergab ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .76$ hinsichtlich der neun Items (Tabelle 4-30).

Tabelle 4-30: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala Studienzufriedenheit

Reliabilitätsstatistik	
Cronbachs Alpha	Anzahl Items
.76	9

Aktuelle Motivation

Zur Erhebung der aktuellen Motivation wurde der Fragebogen zur aktuellen Motivation in Lern- und Leistungssituationen nach Rheinberg et al. (2001) eingesetzt. Aus inhaltlichen Gründen wurden vier Items des ursprünglichen Fragebogens nicht übernommen, sodass jeweils 14 Items in einer Prä- und Post-Erhebung implementiert wurden. Die Einschätzung der aktuellen Motivation erfolgt erneut in Bezug auf die Vorlesungsbereiche der Intervention. Aus diesem Grund wurden die Items umformuliert, da die Items in der ursprünglichen Fassung auf die Bearbeitung von Aufgaben bezogen waren (Tabelle 4-31). Der Fragebogen gliedert sich in vier Subkategorien zu Misserfolgsbefürchtung (5 Items), Erfolgswahrscheinlichkeit (3 Items), Interesse (2 Items) sowie Herausforderung (4 Items) (Rheinberg et al., 2001). Die Likert-Skala in Bezug auf die aktuelle Motivation war sechsstufig. Die Einstufung erstreckt sich von „Trifft voll zu“ (1) bis „Trifft gar nicht zu“ (6).

Tabelle 4-31: Auszug der Items bezüglich der aktuellen Motivation hinsichtlich der Vorlesungen

Aktuelle Motivation: Bitte gib deine Einschätzung zu folgenden Aussagen in Bezug auf die Vorlesungsbereiche Analytik und Anorganik an.		
Item	Formulierung	Likert-Skala
FAM_1	<i>Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Vorlesung gewachsen zu sein.</i>	(trifft voll zu – überwiegend – eher – eher nicht – über- wiegend nicht – trifft nicht zu)
FAM_2	<i>Ich fühle mich unter Druck, bei der Vorlesung gut abschneiden zu müssen.</i>	
FAM_3	<i>Die Vorlesung ist eine richtige Herausforderung für mich.</i>	

Wie in den vorherig beschriebenen Skalen wurden die Items der Skala zur aktuellen Motivation rekodiert, sodass ein höherer Wert (6) einer höheren aktuellen Motivation hinsichtlich jedes Items entspricht. Der Cronbachs Alpha liegt im Prä-Test bei $\alpha = .59$ und im Post-Test bei $\alpha = .76$ (Tabelle 4-32).

Tabelle 4-32: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala aktuelle Motivation

Messzeitpunkt	Reliabilitätsstatistik	
	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
Prä-Test	.59	14
Post-Test	.76	14

Situationales Interesse

Die Skala zur Erhebung des situationalen Interesses wurde in Anlehnung an den Fragebogen nach van Vorst (2013) konzipiert.

Tabelle 4-33: Übersicht zur Umformulierung ausgewählter Items aus dem Fragebogen zum situationalen Interesse nach van Vorst (2013, S. 187–188)

Ursprüngliche Items	Umformulierte Items
Item 1: <i>Nach dem Lesen des Textes finde ich das Thema sehr interessant.</i>	Item 10: <i>Nach dem Arbeiten mit dem Lernvideo, finde ich das Thema sehr interessant.</i> Item 5: <i>Das Lernen mit den Videos finde ich interessant.</i>
Item 8: <i>Ich denke, das Thema könnte sehr nützlich für mich sein.</i>	Item 1: <i>Ich denke, dass das Thema eher nützlich für mein Studium ist.</i>
Item: 9 <i>Ich denke, dass das Thema nützlich für mein weiteres Leben sein könnte.</i>	Item 2: <i>Ich denke, dass das ein eher unwichtiges Thema in meinem Studium ist.</i>
Item 10: <i>Ich denke, dass das ein sehr wichtiges Thema ist.</i>	

Da der Fokus der vorliegenden Studie auf die Inhalte der Intervention und dem Arbeiten mit Lernvideos liegen sollte, wurden die Items des Fragebogens entsprechend umformuliert. Zudem wurden aus inhaltlichen Gründen lediglich zwei Teilskalen übernommen und weitere zwei Items entfernt. Die Items 9 und 10 aus

der ursprünglichen Skala wurden zu einem Item umformuliert. Um eine differenzierte Einschätzung zum Interesse in Bezug auf das Thema sowie dem Arbeiten mit den Lernvideos zu erfragen, wurde das Item 1 der ursprünglichen Skala zu zwei neuen Items umformuliert. Die umformulierten Items, die größere Anpassungen aufweisen, sind in Tabelle 4-33 aufgelistet.

Der finale Fragebogen enthält zehn Items und wurde als einziger Fragebogen nicht als Prä- oder Post-Test eingesetzt. Um das Interesse in der Situation zu erfassen, wurde der Fragebogen nach jedem Thema der Intervention, bevor das neue Thema startete, eingesetzt. Die Studierenden sollten dazu ihre Einschätzung auf die Fragen auf einer vierstufigen Likert-Skala kennzeichnen. Die Einstufung verlief von „Ich stimme zu“ (1) bis „Ich stimme nicht zu“ (4).

Nach Umkodierung der Items wurde die interne Konsistenz der Skala zu jedem Thema errechnet. Die Werte der Reliabilitätsstatistik sind in Tabelle 4-34 aufgeführt.

Tabelle 4-34: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala situationelles Interesse

Thema	Reliabilitätsstatistik	
	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
Gesamt	.89	30
Redoxchemie	.72	10
VSEPR-Theorie	.71	10
Säure-Base-Chemie	.69	10

Mediennutzung

Die erhobene Skala bezüglich der Mediennutzung der Studierenden gliedert sich in die allgemeine und die lernbezogene Mediennutzung. Diese wurde nach Venne-
mann et al. (2021) übernommen, die im Rahmen der *International Computer and Information Literacy Study 2018* (ICILS 2018) Fragebögen für Schüler:innen eingesetzt haben, um unter anderem die allgemeine Nutzung digitaler Medien und ihre Nutzung für schulbezogene Aktivitäten zu erfassen. Die Skala bezüglich der allgemeinen Mediennutzung umfasst acht Items, die unverändert übernommen wurden. Die Skala zur lernbezogenen Mediennutzung enthält 14 Items, die bedarfsweise vom Schulkontext auf den Hochschulkontext umformuliert wurden (Tabelle 4-35). Die Einschätzung der Items erfolgt in Analogie zur ursprünglichen

Kodierung, die sich auf eine Häufigkeitseinschätzung in der Nutzung digitaler Medien in Bezug auf eine Aussage bezieht. Die Kodierung geht von „Nie“ (1) bis einschließlich „Jeden Tag“ (5). Die Kodierung wurde ebenfalls für den Hochschulkontext umformuliert.

Tabelle 4-35: Auszug der Items bezüglich der lernbezogenen Mediennutzung

Lernbezogene Mediennutzung: <i>Wie häufig nutzt du digitale Medien für die folgenden hochschulbezogenen Aktivitäten?</i>		
Item	Formulierung	Likert-Skala
MNL_1	<i>Vorbereiten von Referaten und Aufsätzen.</i>	(Nie – Wenigstens einmal im Monat – Mindestens einmal im Monat, aber nicht jede Woche – Mindestens einmal im Monat, aber nicht jeden Tag – Jeden Tag)
MNL_2	<i>Vorbereiten von Präsentationen.</i>	
MNL_3	<i>Online mit Kommiliton:innen arbeiten.</i>	

Bezüglich der Auswertung war keine Umpolung der Items nötig, da ein höherer Wert einer häufigeren Nutzung digitaler Medien entspricht. Beide Skalen wurden hinsichtlich der Reliabilität analysiert. Die Items der allgemeinen Mediennutzung weisen eine gerade noch akzeptable interne Konsistenz mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .58$ auf. Hingegen ist die interne Konsistenz bei den Items der Skala zur lernbezogenen Mediennutzung mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .79$ höher (Tabelle 4-36).

Tabelle 4-36: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skalen allgemeine und lernbezogene Mediennutzung

Skala	Reliabilitätsstatistik	
Allgemeine Mediennutzung	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
	.58	8
Lernbezogene Mediennutzung	.79	14

4.2.4 Auswertungsverfahren

Im Folgenden werden die Schritte zur Datenaufbereitung und die analytischen Verfahren zur Auswertung beschrieben.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden die Ergebnisse der Studierenden aus der Kontrollgruppe und den Interventionsgruppen untersucht. Die Stichprobe der Interventionsgruppen zum Post- und Follow-Up-Testzeitpunkt bestand aus denjenigen Studierenden, welche an allen drei Interventionsmesszeitpunkten teilnahmen. Neun Studierende der Interventionsgruppen nahmen in der Hauptstudie nur an der ersten Intervention teil, bevor sie das Studium abbrachen. Eine studierende Person nahm vor Studienabbruch an zwei der drei Interventionen teil. Falls Prä-Test-Ergebnisse der Studierenden vorhanden waren, wurden letztere als Bestandteil der jeweiligen Interventionsgruppe behandelt. Aufgrund der Rahmenbedingungen, unter welchen die Datenerhebungen stattfand, liegen bezüglich des Fachwissenstests unvollständige Datensätze der Studierenden vor. Die unvollständigen Datensätze wurden dennoch in die Datenanalyse einbezogen, wie im weiteren Verlauf dieses Kapitels dargelegt wird. Im Rahmen der Untersuchung hinsichtlich des Fachwissenstests werden fehlende Antworten der Studierende als solche behandelt. Dies führt im Prozess der Subanalyse der einzelnen Themen des Fachwissenstests zu einer ungleichen Verteilung der Stichprobengröße in Bezug auf die Subtests. Da dies nicht primär auf das letzte Thema im Fachwissenstest zurückzuführen ist, ist ein Mangel an Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben unwahrscheinlich. Die Datenaufbereitung der Fragebögen erfolgte anhand der Rekodierung negativ formulierter Items und einer Anpassung der Skala, sodass ein höherer Wert einer größeren Zustimmung entsprach.

Die interferenzstatistische Auswertung der Daten erfolgt sowohl mithilfe der Statistiksoftware RStudio als auch dem Programm IBM SPSS Statistics Version 29. Im Rahmen der Präpilotstudie werden Mittelwertvergleiche bezüglich der erhobenen Fragebögen anhand parametrischer Testverfahren durchgeführt (Bühner & Ziegler, 2017). Aufgrund der Unabhängigkeit der Stichproben wird dabei der t-Test für unabhängige Stichproben gewählt (Bühner & Ziegler, 2017). Da der t-Test u. a. Normalverteilung der Daten voraussetzt (Bühner & Ziegler, 2017), wird diese vor der Durchführung des Testverfahrens überprüft. Die Überprüfung der Normalverteilung der untersuchten Stichprobe erfolgt jeweils anhand des Shapiro-

Wilk-Tests. Zusätzlich wird die Normalverteilung grafisch anhand Quantil-Quantil-Plots (Q-Q-Plots) mithilfe des Pakets *ggplot2* sowie Histogrammen überprüft (Wickham, 2016). Zur Einschätzung der Bedeutsamkeit von Effekten dient die Angabe von Effektstärken (Bühner & Ziegler, 2017). Diese „stellen geschätzte standardisierte Unterschiede zweier Populationsmittelwerte dar“ (Bühner & Ziegler, 2017, S. 206). Die Angabe der Effektstärken im Rahmen des t-Tests erfolgen anhand der Effektstärke d (Cohen, 1988). Die Unterteilung der Effektgröße nach Cohen (1988) entspricht folgender Aufteilung (Tabelle 4-37).

Tabelle 4-37: Klassifikation der Effektstärke d nach Cohen (1988)

Kennwert d	Effekt
0.20	klein
0.50	mittel
0.80	groß

Zur Untersuchung des Fachwissenstests der Präpilotstudie wird zur Überprüfung der Mittelwertsunterschiede zwischen Prä- und Post-Test der t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt (Bühner & Ziegler, 2017). Auch hierbei setzt das Testverfahren normalverteilte Daten voraus, sowie unbekannte Varianzen der Grundgesamtheit und intervallskalierte Messdaten. Die Normalverteilung ist in der Präpilotstudie bezüglich der Gesamtstichprobe nicht gegeben. Aufgrund seiner Robustheit gegen Verletzung der Normalverteilungsannahme wird dennoch der t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt (Weiß, 2019; Wilcox, 2017). Zur Überprüfung der Ergebnisse wird als non-parametrische Alternative der Vorzeichen-Rang-Test nach Wilcoxon herangezogen (Bühner & Ziegler, 2017). Die Effektstärke des Vorzeichen-Rang-Tests nach Wilcoxon entspricht r . Die Richtlinien zur Interpretation nach Cohen (1988) sind in Tabelle 4-38 angeführt.

Tabelle 4-38: Klassifikation der Effektstärke r nach Cohen (1988)

Kennwert r	Effekt
0.10	klein
0.30	mittel
0.50	groß

Zur detaillierten Untersuchung der Ergebnisse des Fachwissenstests wird weiterhin der t-Test für unabhängige Stichproben bezüglich des Prä- und Post-Tests sowie der Residuen der Präpilotstudie durchgeführt. Die Auswertung des Fachwissenstests der Pilotstudie erfolgt anhand des t-Tests für abhängige Stichproben. Es wird zuvor erneut die Voraussetzung der Normalverteilung der Stichprobe überprüft.

Im Rahmen einer Voranalyse der Ergebnisse der Hauptstudie werden zunächst anhand einer einfaktoriellen ANOVA die Mittelwertsunterschiede des Prä-Tests zwischen allen fünf Gruppen verglichen. Neben einer Normalverteilung der Stichprobe setzt die einfaktorielle Varianzanalyse weiterhin die Homogenität der Varianzen, die Unabhängigkeit der Beobachtungen und das Intervallskalenniveau der abhängigen Variablen voraus (Bühner & Ziegler, 2017). Die interferenzstatistische Überprüfung der Varianzhomogenität erfolgt anhand des Levene-Tests aus dem Paket *car* (Fox & Weisberg, 2019). Ist dieser signifikant, wird die Homogenitätsannahme abgelehnt. Die fehlende Signifikanz der Varianzanalyse bei einem α -Niveau von 5 % deutet darauf hin, die Nullhypothese beizubehalten und dass somit keine signifikanten Vorwissensunterschiede zwischen den Gruppen vorhanden sind. Die Effektstärke der Varianzanalyse ohne Messwiederholung wird η^2 (η^2) bezeichnet. Diese gibt den Anteil der Gesamtvariabilität der abhängigen Variable an, welche durch den Einfluss der unabhängigen Variablen erklärt werden kann (Bühner & Ziegler, 2017). Das Maß für die Stärke des Effekts wird nach Cohen (1988) folgendermaßen eingestuft:

Tabelle 4-39: Klassifikation der Effektstärke η^2 nach Cohen (1988)

Kennwert η^2	Effekt
0.01	klein
0.06	mittel
0.14	groß

Als weiteren Schritt der Voranalyse wird die gesamte Stichprobe unter Zuhilfenahme der einfaktoriellen ANOVA auf die Fragestellung hin untersucht, ob signifikante Lernzuwächse zwischen den einzelnen drei Messzeitpunkten vorhanden sind. Dazu werden im Anschluss der Varianzanalyse paarweise t-Tests durchgeführt. Zur Korrektur des dabei entstehenden Fehlers 1. Art wird eine Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus durchgeführt.

Vor der Analyse der Daten der Hauptstudie wird mithilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben überprüft, ob die Gruppen der Hauptstudie 1 und 2 signifikante Mittelwertunterschiede aufweisen. Dies dient der Überprüfung, ob die Daten zusammengefügt und gemeinsam untersucht werden können.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 1 wird ein gemischtes lineares Regressionsmodell mit Dummy-Kodierung eingesetzt (S. Hilbert et al., 2019). Zur Untersuchung des Einflusses der Prädiktoren der zugehörigen Seminargruppe und des Messzeitpunktes auf die abhängige Variable des Fachwissens wird das gemischte lineare Regressionsmodell (LMM) einer mehrfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung vorgezogen. Begründet wird dies mit den Stärken des LMM im Vergleich zur Varianzanalyse. Die ANOVA entspricht einem Omnibus-Test und informiert lediglich über das Vorhandensein von Mittelwertsunterschieden, jedoch nicht zwischen welchen Gruppen diese bestehen (S. Hilbert et al., 2019). Eine anschließende post-hoc-Analyse anhand multipler t-Testverfahren wird mit einer Alphafehler-Kumulierung und dem Verlust statistischer Power aufgrund Korrekturverfahren begleitet. Die Wahl einer Referenzgruppe verringert im LMM die Anzahl der Paarvergleiche verglichen zur Varianzanalyse und ermöglicht eine direkte Interpretation der Ergebnisse (S. Hilbert et al., 2019). Des Weiteren kann das LMM unvollständige Datensätze mit fehlenden Werten berücksichtigen, welches im Falle der Varianzanalyse nicht möglich ist. Trotz unvollständiger Datensätze der vorliegenden Studie, bedingt durch die Rahmenbedingungen der Datenerhebung, kann das LMM mit allen Datensätzen gerechnet werden. Es werden sowohl die Prädiktoren Gruppenzugehörigkeit als auch Messzeitpunkt dummy-kodiert. Bei der Dummy-Kodierung wird jeder Ausprägung eines kategorialen Merkmals eine eigene Variable zugewiesen, die nur die Werte 0 oder 1 annehmen kann. Das LMM ermöglicht die Dummy-Kodierung mehrerer Experimentalgruppen, sodass jede Interventionsgruppe und die Kontrollgruppe dummy-kodiert werden. Die Berechnung des LMM erfolgt in RStudio mit dem Paket *lme4* (Bates et al., 2015; RStudio Team, 2020). Die Darstellung der zugehörigen *p*-Werte erfolgt mit dem Paket *lmerTest* (Kuznetsova et al., 2017). Durch die Darstellung der Regressionskoeffizienten *b*, ermöglicht das LMM die Richtung und die Größe des linearen Zusammenhangs zu deuten (Seiler, 2021).

Im Rahmen der Forschungsfragen 1 und 2.1 wird der Lernzuwachs der Kontrollgruppe über die drei Messzeitpunkte hinweg mit dem Lernzuwachs der Gruppe IG_LV bzw. IG_SE verglichen. Dazu wird folgende Modellgleichung angewen-

det, wobei die Kontrollgruppe im LMM als Referenzgruppe dient. Die in der Modellgleichung verwendeten Parameter und Abkürzungen sind in Tabelle 4-40 erläutert.

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_T T1 + \beta_T T2 + \beta_{SG} IG_LV + \beta_{SG} IG_SE + \beta_{TxSG}(T1 \times IG_LV) + \beta_{TxSG}(T2 \times IG_LV) + \beta_{TxSG}(T1 \times IG_SE) + \beta_{TxSG}(T2 \times IG_SE) + u_{0i} + \epsilon_{ij}$$

Des Weiteren werden im Rahmen der Forschungsfrage 2.2 die Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF sowie die Kontrollgruppe miteinander verglichen. Als Referenzgruppe dient im LMM die Interventionsgruppe IG_EF zum ersten Messzeitpunkt. Die Modellgleichung zur Beantwortung der Forschungsfrage 2.2 lautet:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_T T1 + \beta_T T2 + \beta_{SG} IG_VF + \beta_{SG} KG + \beta_{TxSG}(T1 \times IG_VF) + \beta_{TxSG}(T2 \times IG_VF) + \beta_{TxSG}(T1 \times KG) + \beta_{TxSG}(T2 \times KG) + u_{0i} + \epsilon_{ij}$$

Abschließend wird zur Analyse der Forschungsfrage 3 folgende Modellgleichung genutzt, wobei die Seminargruppe IG_SE zum Prä-Test als Referenzgruppe dient.

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_T T1 + \beta_T T2 + \beta_{SG} KG + \beta_{SG} IG_LV + \beta_{TxSG}(KG) + \beta_{TxSG}(IG) + \beta_{TxSG}(T1 \times IG_LV) + \beta_{TxSG}(T2 \times IG_LV) + u_{0i} + \epsilon_{ij}$$

Tabelle 4-40: Legende zu den Modellgleichungen des LMMs

Modellelement	Beschreibung
Y_{ij}	abhängige Variable für Person i zu Messzeitpunkt j
α	Intercept
T1, T2	Messzeitpunkte (Dummy-kodiert)
SG	Seminargruppen (Dummy-kodiert)
KG	Kontrollgruppe
IG_SE	Interventionsgruppe <i>schriftliche Erklärungen</i>
IG_LV	Interventionsgruppe <i>Lernvideos</i>
IG_EF	Interventionsgruppe <i>Erklärvideos fremderstellt</i>
IG_VF	Interventionsgruppe <i>Video-Modeling-Examples fremderstellt</i>
β_T, β_{SG}	Haupteffekte der Messzeitpunkte bzw. Seminargruppen
β_{TxSG}	Interaktionseffekte zwischen Messzeitpunkt und Seminargruppe
u_{0i}	Zufälliger Effekt
ϵ_{ij}	Fehlerterm

Als Effektstärke dient bei der linearen Regressionsanalyse der multiple Determinationskoeffizient R^2 . Im LMM wird zwischen dem R^2 marginal und dem R^2 konditional unterschieden (S. Hilbert et al., 2019). Der Koeffizient R^2 marginal gibt an, wieviel der Varianz durch die festen Effekte des Modells aufgeklärt werden, während der Koeffizient R^2 konditional die Varianzaufklärung unter Berücksichtigung der festen und zufälligen Effekte gemeinsam angibt. Die Berechnung der R^2 -Koeffizienten erfolgt mithilfe des Pakets *MuMIn* (Bartón, 2024).

Die Verteilung der beobachteten Häufigkeiten der Variablen der demografischen Daten in den einzelnen Seminargruppen wird anhand eines χ^2 -Tests überprüft (Leonhart, 2022). Der χ^2 -Test dient zur Untersuchung der Unterschiede zwischen beobachteten und zu erwartenden Häufigkeiten (Leonhart, 2022). Es ist somit ein non-parametrisches Verfahren zur Untersuchung nominaler Daten (Bühner & Ziegler, 2017). Wird der χ^2 -Test bei einem α -Niveau von 5 % nicht signifikant, wird die jeweilige Nullhypothese, dass die Gruppenzugehörigkeit unabhängig von der untersuchten Variable ist, angenommen (Leonhart, 2022).

Die Untersuchung der Kovariablen, die anhand von Fragebögen während des Studienverlaufs erfasst wurden, wurde über ihre Korrelation mit dem Lernzuwachs der Studierenden zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt vorgenommen. Als Korrelation wird das standardisierte Maß des linearen Zusammenhangs zweier Variablen bezeichnet, welche Werte zwischen -1 und +1 annehmen kann (Leonhart, 2022). Je näher der Wert an den Grenzbereichen liegt, desto stärker ist der negative bzw. positive Zusammenhang zwischen zwei Variablen. Liegt der Wert jedoch bei 0, ist kein linearer Zusammenhang vorhanden (Bühner & Ziegler, 2017). Im Falle einer Normalverteilung wird der Koeffizient r nach der Produkt-Moment-Korrelation bzw. der Pearson-Korrelation angegeben. Bei nicht normalverteilten wird die Spearman-Rangkorrelation r_s angewendet.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen hinsichtlich der Erklärkompetenz der Studierenden werden die schriftlichen Erklärungen anhand des Kodiermanuals bewertet. Zur Analyse der Reliabilität des Kodiermanuals wurden die Inter-Rater-Reliabilitäten zwischen 36 Ausarbeitungen und vier Kodiererinnen berechnet. Im Rahmen der finalen Reliabilitätsanalyse wurden 45 Ausarbeitungen doppelt kodiert. Zur Analyse der Erklärkompetenz wurde bei mehrfach kodierten Ausarbeitungen jeweils der Mittelwert der Codes der Kodiererinnen für jede Kategorie herangezogen. Kategorien, hinsichtlich derer sich keine Einschätzung auf Basis der schriftlichen Erklärung treffen ließ, erhielten die Ausprägung 77. In Fällen, in de-

nen keine Einigung hinsichtlich der Kodierung bei Kategorien mit 77 erzielt werden konnte, wurde individuell entschieden, welcher Code letztendlich in die Analyse einfluss. Bezüglich der Ausarbeitungen, die vier Mal kodiert wurden, wurde der Mehrheitsentscheidung gefolgt. Im Falle der doppeltkodierten Ausarbeitungen wurde die 77 abgelehnt.

Anschließend wurden die unterschiedlichen Skalierungen der einzelnen Kategorien im Kodiermanual vereinheitlicht, indem jeweils Scores berechnet wurden. Diese Vorgehensweise verhindert eine Gewichtung höher kodierter Kategorien, indem der jeweils höchste Score 1 entspricht. Dadurch wird zugleich die Vergleichbarkeit einzelner Kategorien gewährleistet. Zur Ermittlung des Scores wird in jeder Kategorie der erreichte Code, durch den maximal zu erreichenden Code dividiert. Zur Berechnung des Scores wird die Ausprägung 77 als „fehlend“ gewertet, sodass sie nicht in die Bewertung einfließen. Der Gesamt-Score der schriftlichen Erklärungen wird schließlich durch Summierung aller einzelnen Scores und Division durch die Anzahl der auswertbaren Kategorien ermittelt.

Die auf diese Weise ermittelten Gesamt-Scores der schriftlichen Erklärungen zu den jeweiligen Themen dienen der Analyse der Erklärkompetenz. Es erfolgt eine Korrelationsanalyse mit den residualen Lernzuwächsen der Studierenden und mit den Ergebnissen der Post-Tests.

4.3 Gütekriterien

Das folgende Kapitel dient der Beschreibung, inwieweit die erhobenen Testdaten den Hauptgütekriterien entsprechen. In diesem Rahmen werden die Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität zunächst beschrieben, bevor die eingesetzten Testinstrumente entsprechend eingeschätzt werden.

Objektivität

Die Objektivität stellt das Maß an Unabhängigkeit der Ergebnisse eines Testinstruments von der untersuchenden Person dar (Bühner, 2021). Die Unabhängigkeit bezieht sich dabei auf die Durchführung, Auswertung sowie die Interpretation (Moosbrugger & Kelava, 2020).

Zur Sicherstellung der *Durchführungsobjektivität* wird eine standardisierte Durchführung der Testungen eingehalten, um keine variierenden Abläufe zu generieren (Bortz & Döring, 2006). Die Paper-Pencil-Tests sowie die Online-Fragebögen fanden in Präsenz unter derselben Testleitung statt. Die Instruktion zur Testung war standardisiert und im Prä-, Post- und Follow-Up-Test identisch. Zur Bearbeitung des Fachwissenstests durften alle Studierenden dieselben Hilfsmittel verwenden. Des Weiteren wurden Anweisungen in den Test integriert und zu den entsprechenden Aufgaben gegeben (Bühner, 2021). Dadurch wird nochmalig sichergestellt, dass die Anweisungen zwischen den Testungen nicht variieren (Bühner, 2021; Moosbrugger & Kelava, 2020). Die vorgegebene Testdauer unterscheidet sich ebenfalls nicht zwischen den Testzeitpunkten (Moosbrugger & Kelava, 2020). Lediglich der Post- und Follow-Up-Test der Leistungsmessung nahmen faktisch weniger Zeit in Anspruch als der Prä-Test. Dies liegt darin begründet, dass es sich um ein Niveau-Test handelt, welcher bei einem höheren Wissensstand der Teilnehmer:innen in kürzerer Zeit bearbeitet wird.

Bezüglich der *Auswertungsobjektivität* muss gewährleistet werden, dass die Verteilung der Testpunkte unabhängig vom Auswertenden ist (Bortz & Döring, 2006). Dazu wurde in Bezug des Fachwissenstests ein Bewertungsmanual konstruiert, welche die konkrete Bewertung der Items beschreibt. Single-Choice-Aufgaben wurden nur dann als richtig gewertet, wenn lediglich die einzige richtige Antwort angekreuzt wurde. Für den Fall, dass mehr als eine Antwort angekreuzt wird, werden keine Punkte vergeben. Bei den offenen Aufgabenformaten wurde darauf geachtet, möglichst alle Antwortalternativen und die entsprechenden Bepunktungen im Bewertungsmanual festzulegen (Moosbrugger & Kelava, 2020). Zur weiteren Verdeutlichung wurden die Antwortalternativen mit Ankerbeispielen versehen.

Um die Auswertungsobjektivität bezüglich der schriftlichen Erklärungen sicherzustellen, wurde ein Kodiermanual zur Bewertung entwickelt. Für eindeutige Bewertungen wurden auch hier Ankerbeispiele und konkrete Hinweise bezüglich der Kodierung vorgegeben (Bühner, 2021). Die Entwicklung des Kodiermanuals ist Gegenstand des 4.2.2 und die erfasste Objektivität durch die Bewertung mehrerer Kodiererinnen wird in Kapitel 5.3.3 dargelegt.

Interpretationsobjektivität bedeutet, dass die Interpretation eines Testwertes nicht durch individuelle Deutungen beeinflusst wird (Bortz & Döring, 2006). Dies wird durch eine kriteriengeleitete Interpretation der Testergebnisse anhand statistischer und standardisierter Maße erfüllt (Seiler, 2021).

Reliabilität

Die Reliabilität kennzeichnet die Messgenauigkeit eines Testinstrumentes (Bortz & Döring, 2006; Moosbrugger & Kelava, 2020). Je höher dabei die Reliabilität ist, desto geringer ist der Anteil des Messfehlers, wobei eine vollkommene Vermeidung von Fehlereinflüssen nach Bortz und Döring (2006) nicht realisierbar ist. Zur Messung der Reliabilität eines Testinstrumentes kann zwischen mehreren Methoden unterschieden werden. Dazu zählen die *Retestreliabilität*, die *Paralleltestreliabilität*, die *Testhalbierungsreliabilität* (Split-half-Reliabilität) sowie die *interne Konsistenz* (Bortz & Döring, 2006). In der vorliegenden Studie wird im Rahmen des Fachwissenstests zur Angabe der Reliabilität die interne Konsistenz unter Zuhilfenahme des Alphakoeffizienten nach Cronbach (1951) verwendet. Für die Berechnung der internen Konsistenz wird jedes Item eines Tests als eigenständig gewertet und mit den restlichen Items korreliert (Bortz & Döring, 2006). Des Weiteren wird die Reliabilität der eingesetzten Fragebögen anhand des Cronbachs Alphakoeffizienten der Prä- und Post-Test-Daten wiedergegeben, sofern diese zu beiden Zeitpunkten durchgeführt wurden. Nach Bortz und Döring (2006) entspricht ein Wert über $\alpha = 0.80$ einer *guten* Reliabilität. Nach Rost (2013) entspricht bereits ein Wert über $\alpha = 0.55$ einer *akzeptablen* Reliabilität. Die berechneten Konsistenzkoeffizienten der in der vorliegenden Studie eingesetzten Testinstrumente werden in Kapitel 4.2 berichtet.

Zur Einschätzung der Objektivität und Reliabilität des Kodiermanuals zur Bewertung der schriftlichen Erklärungen wird die Inter-Koder-Reliabilität herangezogen. Die Durchführung in Bezug auf die Berechnung des Reliabilitätskoeffizienten wurde in Kapitel 4.2.2 erläutert, während die Ergebnisse in Kapitel 5.3.3 beschrieben werden.

Validität

Die Validität eines Erhebungsinstrumentes gibt an, inwiefern dieses Instrument das misst, was es messen soll (Bortz & Döring, 2006; Bühner, 2021). Es wird dabei zwischen den Arten der Inhalts-, Kriteriums- und Konstruktvalidität unterschieden (Bortz & Döring, 2006).

Die *Inhaltsvalidität* ist dann gegeben, wenn ein einzelnes Testitem das untersuchte Konstrukt präzise erfasst (Bortz & Döring, 2006). Die Inhaltsvalidität sollte aus diesem Grund bereits bei der Testkonstruktion berücksichtigt werden (Bühner, 2021). Während der Konstruktion des Fachwissenstests wurde auf die Integration einer großen Anzahl an Items geachtet, um das Konstrukt des Fachwissens in den verschiedenen Teilbereichen möglichst repräsentativ zu erfassen (Bühner, 2021). Des Weiteren wurden die Aufgaben mithilfe von Fachliteratur formuliert und vor dem Einsatz in der Hauptstudie von einem Fachdidaktiker der Chemie sowie einem Fachwissenschaftler im Bereich der Anorganischen Chemie überprüft. Das Kodiermanual zur Bewertung der schriftlichen Erklärungen und die Angaben zur Erstellung der schriftlichen Erklärungen wurden ebenfalls unter Zuhilfenahme entsprechender Literatur entwickelt.

Die *Kriteriumsvalidität* wird durch den Zusammenhang eines Messwertes mit weiteren Kriterien, „mit denen der Messwert aufgrund seines Messanspruchs korrelieren sollte“, wiedergegeben (Bühner, 2021, S. 602).. *Die Konstruktvalidität* lässt sich durch die Untersuchung mehrerer Hypothesen in Bezug auf das Konstrukt und deren Zusammenhang zu weiteren Variablen bestimmen (Bortz & Döring, 2006). In der vorliegenden Studie wird Kriteriumsvalidität über die Korrelation des Fachwissens mit der Erklärkompetenz erfasst, die als Außenkriterium dient. Zur Bestimmung der Konstruktvalidität werden zudem Zusammenhänge mit latenten Merkmalen wie situationalem Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen analysiert (Seiler, 2021).

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie werden im Folgenden detailliert vorgestellt. Gemäß der Durchführung der Studie werden zunächst die Ergebnisse der Präpilotstudie (Kapitel 5.1) und Pilotstudie (Kapitel 5.2) beschrieben. Anschließend werden die Ergebnisse der Hauptstudie (Kapitel 5.3) dargestellt, die im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfragen erhoben wurden. Dabei werden die Ergebnisse in Bezug auf den Lernzuwachs beschrieben, die anhand des Fachwissenstests gemessen wurden (Kapitel 5.3.1). Zusätzlich werden die Ergebnisse hinsichtlich der Analyse des Einflusses von Kovariablen auf den Lernzuwachs berichtet (Kapitel 5.3.2). Anschließend werden die Ergebnisse zur Erfassung der Erklärqualität der schriftlichen Erklärungen anhand des entwickelten Kodiermanuals beschrieben und mit dem Lernzuwachs in Verbindung gesetzt (Kapitel 5.3.3).

5.1 Präpilotstudie

An der Präpilotstudie nahmen $N = 207$ Chemiestudierende der Universität Regensburg teil. Davon waren $N = 103$ Lehramtsstudierende und $N = 104$ Studierende der Studiengänge Bachelor of Science Chemie oder Biochemie. Das durchschnittliche Alter lag sowohl bei den Lehramtsstudierenden als auch bei den bei den Bachelorstudierenden bei $M = 19.8$ Jahren. Die häufigste gewählte Schulart der Lehramtsstudierenden ist Gymnasium mit 67 % und die häufigste Fächerkombination ist mit 45.6 % Chemie-Biologie. Die Studierenden der erfassten Studiengänge erlangten zu einem größeren Anteil die Hochschulreife an Gymnasien. Die Lehramtsstudierenden belegten zu 72.8 % Chemie in der Oberstufe und 33 % hatten eine Abiturprüfung in Chemie. Die Bachelorstudierenden belegten Chemie zu 77.9 % in der Oberstufe und 36.5 % der Studierenden hatten die Abiturprüfung in Chemie. Die detaillierte Beschreibung der Stichprobe in der Präpilotstudie ist in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1: Stichprobenbeschreibung Präpilotstudie

Demografische Daten	Lehramt Chemie	B. Sc. Bio-/Chemie
<i>N</i>	103	104
Alter	<i>M</i> = 19.8; <i>SD</i> = 1.7; <i>Min</i> = 18; <i>Max</i> = 26	<i>M</i> = 19.8; <i>SD</i> = 2.2; <i>Min</i> = 18; <i>Max</i> = 28
Schulart Studium		-
Gymnasium:	67.0 %	
Realschule:	19.4 %	
Mittelschule:	1.0 %	
Grundschule:	3.9 %	
Zweitfach Studium		-
Biologie:	45.6 %	
Mathematik:	36.9 %	
Physik:	2.9 %	
Englisch:	1.0 %	
Weitere:	3.9 %	
Schulart Hochschulreife		
Gymnasium:	62.1 %	70.2 %
FOS/BOS:	29.1 %	19.2 %
Chemie Oberstufe	72.8 %	77.9 %
Chemie Abiturprüfung	33.0 %	36.5 %

Aktuelle Motivation

Der Fragebogen zur aktuellen Motivation der Studierenden bezüglich den Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie wurde im Prä-Post-Design erhoben. Die sechsstufige Likert-Skala entspricht bei einem Wert von 1 der geringsten Zustimmung und bei einem Wert von 6 der höchsten Zustimmung. Die interne Konsistenz des Fragebogens beträgt zum ersten Messzeitpunkt Cronbachs Alpha von $\alpha = .70$ und zum zweiten Messzeitpunkt Cronbachs Alpha von $\alpha = .79$. Tabelle 5-2 ist die Übersicht zur deskriptiven Statistik des Fragebogens zur aktuellen Motivation zu entnehmen.

Tabelle 5-2: Deskriptive Statistik – Aktuelle Motivation – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>M</i> (<i>SD</i>)	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Prä	142	3.73 (0.57)	2.21	5.21
Post	100	3.75 (0.64)	1.64	5.29

Der Shapiro-Wilk-Test deutet auf eine Normalverteilung der Einstellung im Fragebogen hin. Zur Überprüfung des Mittelwertsunterschieds wurde ein t-Test für abhängige Stichproben gerechnet. Der Unterschied zwischen Prä- und Post-Test erweist sich als nicht signifikant und weist zudem eine geringe Effektstärke auf (Tabelle 5-3).

*Tabelle 5-3: Interferenzstatistik – Aktuelle Motivation – Präpilotstudie (Lehr-
amtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)*

Skala	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Aktuelle Motivation	86	.28	85	.778	.03

Zur Untersuchung der Unterschiede in den Prä-Testergebnissen der aktuellen Motivation zwischen den Studierenden des Studiengangs Lehramt Chemie ($M = 3.58$, $SD = .58$) und B.Sc. Bio-/Chemie ($M = 3.87$, $SD = .53$) wird ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Wie Tabelle 5-4 zu entnehmen ist, zeigt die Untersuchung einen signifikanten Mittelwertsunterschied. Auch der Mittelwertsunterschied zum Post-Testzeitpunkt erweist sich zwischen den Lehramtsstudierenden ($M = 3.53$, $SD = .69$) und Bachelorstudierenden ($M = 3.97$, $SD = .49$) als signifikant.

Anschließend wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben anhand der Residuen durchgeführt, um die Lehramtsstudierenden ($M = -0.22$, $SD = .93$) und die Bachelorstudierenden ($M = 0.25$, $SD = 1.02$) auf einen signifikanten Mittelwertsunterschied in der Motivationsänderung im Laufe des Semesters zu untersuchen. Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigt einen signifikanten Unterschied in der Motivationsänderung zwischen den Lehramtsstudierenden und den Bachelorstudierenden mit $t(84) = 2.23$, $p = .028$ und einer Effektstärke von $d = .48$ während dem Verlauf des Semesters (Tabelle 5-4). Dies weist darauf hin, dass die Bachelorstudierenden im Verlauf des Semesters eine stärkere Zunahme der Motivation zeigten als die Lehramtsstudierenden.

*Tabelle 5-4: Interferenzstatistik – t-Test für unabhängige Stichproben – Aktuelle
Motivation – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)*

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Prä-Test	142	3.13	140	.002	.53
Post-Test	100	3.70	88.17	<.001	.74
Prä-Post-Test Residuen	86	2.23	84	.031	.48

Die Analyse der Pearson Produkt-Moment Korrelation zeigt eine moderate positive Korrelation der Motivationsänderung zwischen Prä- und Post-Zeitpunkt und dem Lernzuwachs, $r = .41$, $p < .001$.

Selbsteinschätzung

Zur Erfassung der Selbsteinschätzung der Studierenden im Fach Chemie wurde ein Fragebogen mit 13 Items eingesetzt. Die interne Konsistenz beträgt zum Prä-Test Cronbachs Alpha von $\alpha = .66$ und zum Post-Test Cronbachs Alpha von $\alpha = .70$. Die Übersicht zur deskriptiven Statistik des Fragebogens bezüglich der Selbsteinschätzung ist in Tabelle 5-5 dargestellt.

*Tabelle 5-5: Deskriptive Statistik – Selbsteinschätzung – Präpilotstudie (Lehr-
amtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)*

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Prä	192	2.94 (0.35)	1.92	3.92
Post	100	3.04 (0.32)	2.23	3.69

Aufgrund der Normalverteilung in den Differenzen in Bezug auf den Fragebogen auf Basis des Shapiro-Wilk-Tests, wurden die Mittelwertsunterschiede mithilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben berechnet. Wie in Tabelle 5-6 ersichtlich ist, erweisen sich die Unterschiede in den Mittelwerten zwischen Prä- und Post-Test als höchstsignifikant.

*Tabelle 5-6: Interferenzstatistik – Selbsteinschätzung – Präpilotstudie (Lehr-
amtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)*

Skala	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Selbsteinschätzung	96	3.67	95	<.001	.37

Zur Überprüfung der Mittelwertsunterschiede im Prä- und Post-Test zwischen Lehramtsstudierenden und Bachelorstudierenden wurde jeweils ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Es zeigt sich knapp kein signifikanter Unterschied in der Selbsteinschätzung der Lehramtsstudierenden ($M = 2.89$, $SD = .31$) und der Bachelorstudierenden ($M = 2.98$, $SD = .38$) zu Beginn des Semesters mit $t(190) = 1.94$, $p = .054$. Jedoch unterscheiden sich Lehramtsstudierende ($M = 2.96$, $SD = .35$) signifikant von den Bachelorstudierenden ($M = 3.12$,

$SD = .27$) zum Ende des Semesters mit $t(98) = 2.51$, $p = .014$, wie Tabelle 5-7 zeigt.

In Bezug auf die Veränderung der Selbsteinschätzung im Laufe des Semesters wird zudem ein t-Test für unabhängige Stichproben zwischen Lehramtsstudierenden ($M = -.24$, $SD = 1.09$) und Bachelorstudierenden ($M = .23$, $SD = .84$) anhand der Residuen durchgeführt. Wie Tabelle 5-7 zu entnehmen, ist ein signifikanter Mittelwertsunterschied der Residuen mit $t(94) = 2.40$, $p = .018$ zugunsten der Bachelorstudierenden feststellbar.

Zwischen dem Lernzuwachs und der Veränderung in der Selbsteinschätzung der Studierenden zeigt die Pearson Produkt-Moment Korrelation eine moderate positive Korrelation mit $r = .34$ und $p = .001$.

Tabelle 5-7: Interferenzstatistik – t-Test für unabhängige Stichproben – Selbsteinschätzung – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Prä-Test	192	1.94	190	.054	.28
Post-Test	100	2.51	98	.014	.50
Prä-Post-Test	96	2.40	94	.018	.49

Fachwissenstest

Der Fachwissenstest in der Präpilotstudie wurde im Prä-Post-Design durchgeführt und enthielt im Prä-Test 32 Items, von denen 30 auch im Posttest verwendet wurden. Die Reliabilitätsanalyse des Post-Tests zeigt einen Cronbachs Alpha der Items von $\alpha = .84$. Die Analyse der deskriptiven Statistik bezüglich der übereinstimmenden Items ergibt folgende Ergebnisse:

Tabelle 5-8: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Prä	193	3.35 (1.92)	0.0	10.0
Post	138	14.62 (4.44)	3.5	23.5

Die Überprüfung der Normalverteilung der Stichprobe anhand der Residuen zeigt auf Basis des Shapiro-Wilk-Tests mit $p < .001$, dass keine Normalverteilung gegeben ist. Da die t-Verteilung jedoch robust gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung ist und um die Vergleichbarkeit mit weiteren Daten zu gewährleisten, wurde zur Überprüfung der Mittelwertsunterschiede ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt (Weiß, 2019; Wilcox, 2017). Die Mittelwertsunterschiede zeigen einen signifikanten Lernzuwachs mit $t(134) = 29.95, p = <.001$ und einer Effektstärke von $d = 2.58$ zwischen Prä-Test ($M = 3.47; SD = 1.90$) und Post-Test ($M = 14.63, SD = 4.40$). Auch die non-parametrische Testalternative des Vorzeichen-Rang-Tests nach Wilcoxon zeigt einen signifikanten Lernzuwachs, $z = 10.08, p = <.001$.

Tabelle 5-9: Interferenzstatistik – Fachwissenstest – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)

Fachwissenstest	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Prä-Post-Test	135	29.95	134	<.001	2.58

Die Analyse der Mittelwertsunterschiede zeigt mittels t-Tests für unabhängige Stichproben zwischen Lehramtsstudierenden ($M = 3.29, SD = 2.01$) und Bachelorstudierenden ($M = 3.41, SD = 1.83$) keinen signifikanten Unterschied im Prä-Test mit $t(191) = 0.44, p = .330$. Die Überprüfung der Lehramtsstudierenden ($M = 14.08, SD = 4.79$) und Bachelorstudierenden ($M = 15.10, SD = 4.07$) zeigt im Post-Test ebenfalls keinen signifikanten Mittelwertsunterschied mit $t(136) = 1.35, p = .090$. Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigt zudem in Bezug auf die Mittelwertsunterschiede der Residuen der Lehramtsstudierenden ($M = -.13, SD = 1.07$) und Bachelorstudierenden ($M = .11, SD = .92$) keinen signifikanten Unterschied mit $t(132) = 1.39, p = .084$. Die detaillierte Statistik ist in Tabelle 5-10 aufgeführt.

Tabelle 5-10: Interferenzstatistik – t-Test für unabhängige Stichproben – Fachwissenstest – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Prä-Test	193	0.44	191	.330	.06
Post-Test	138	1.35	136	.090	.23
Prä-Post-Test	134	1.39	132	.084	.24

5.2 Pilotstudie

An der Pilotstudie im Sommersemester 2022 nahmen 15 Chemielehramtsstudierende der Universität Regensburg teil. Das durchschnittliche Fachsemester lag bei den Studierenden bei 2.87, wobei die geringste Semesteranzahl eins und die höchste Semesteranzahl sechs war. Die Übersicht zur Stichprobenbeschreibung findet sich in Tabelle 5-11.

Tabelle 5-11: Stichprobenbeschreibung Pilotstudie

Studierende	Lehramt Chemie
<i>N</i>	15
Semester	$M = 2.87; SD = 1.60; Min = 1; Max = 6$

Fachwissenstest

Der Fachwissenstest der Pilotstudie enthielt 78 Items und wurde im Prä-Post-Design appliziert. Zur Überprüfung der internen Konsistenz wurde eine Reliabilitätsanalyse des Post-Tests durchgeführt. Die Analyse ergibt ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .90$. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik des Prä- und Post-Tests sind in Tabelle 5-12 zusammengefasst.

Tabelle 5-12: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Pilotstudie

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Prä	15	12.77 (6.04)	3.0	25.5
Post	11	18.00 (6.24)	4.5	27.5

Die Überprüfung der Normalverteilung der Stichprobe erfolgt anhand der Residuen des Fachwissenstests. Der Shapiro-Wilk-Test deutet mit $p = .566$ auf eine Normalverteilung in der Stichprobe hin. Die Analyse der Mittelwertsunterschiede im Prä-Test ($M = 13.91; SD = 5.47$) und Post-Test ($M = 18.00; SD = 6.24$) mithilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben zeigt einen signifikanten Lernzuwachs mit $t(10) = 4.96, p < .001$ und einer Effektstärke von $d = 1.50$ an.

Tabelle 5-13: Interferenzstatistik – Fachwissenstest – Pilotstudie

Fachwissenstest	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Prä-Post-Test	11	4.96	10	<.001	1.50

Evaluation der Pilotstudie

Ergänzend evaluierten die Studierenden ausgewählte Aspekte der durchgeführten Pilotstudie, um eventuelle Verbesserungen der Materialien vor Beginn der Hauptstudie zu ermöglichen. Ein Teil des Fragebogens erfasste eventuelle Schwierigkeiten der Studierenden im Rahmen der Erstellung eines Video-Modeling-Examples. Dabei sollten die Studierenden einschätzen, ob Schwierigkeiten bestanden oder nicht. Im Anschluss an jedes geschlossene Item erfolgte jeweils ein Item im offenen Frageformat zur Ausführung der bestehenden Schwierigkeiten. Wie der Tabelle 5-14 zu entnehmen ist, bereiteten den Studierenden technische Aspekte die größten Schwierigkeiten, während keinerlei Schwierigkeiten bezüglich fachlicher Aspekte angegeben wurden.

Tabelle 5-14: Deskriptive Statistik – Evaluation bezüglich Schwierigkeiten – Pilotstudie

Item	Antwort	
<i>Hatten Sie technische Schwierigkeiten beim Erstellen des Video-Modeling-Examples?</i>	Ja	22.2 %
	Nein	77.8 %
<i>Hatten Sie fachliche Schwierigkeiten beim Erstellen des Video-Modeling-Examples?</i>	Ja	0 %
	Nein	100 %
<i>Hatten Sie didaktische Schwierigkeiten beim Erklären der Lösungsschritte?</i>	Ja	11.1 %
	Nein	88.9 %

Zur detaillierten Untersuchung fachlicher Aspekte wurden diese in Bezug auf die Aufgabenstellungen zum Erstellen des Lernvideos und des Fachwissenstests erfragt. Die Einschätzung des fachlichen Anspruchs erfolgte auf einer fünfstufigen Likert-Skala, welche die Werte 1 (=hoch) bis 5 (=niedrig) erfasst. Ein höherer Wert auf der Likert-Skala entspricht demnach einem geringeren fachlichen Anspruch. Die Studierenden schätzen im Mittel den fachlichen Anspruch der Aufgabenstellungen als angemessen ein, während der Fachwissenstest tendenziell einen höheren Anspruch zeigt (Tabelle 5-15).

*Tabelle 5-15: Deskriptive Statistik – Evaluation bezüglich fachlichen Anspruchs
– Pilotstudie*

Item	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<i>Bitte schätzen Sie den fachlichen Anspruch der Aufgaben, die Sie für die Video-Modeling-Examples bearbeitet haben, ein.</i>	3.00	.71	2	4
<i>Bitte schätzen Sie den fachlichen Anspruch des Fachwissenstests ein.</i>	2.22	.44	2	3

Die Antworten bezüglich der offenen Frageformate sind in Kapitel 11.4 dargelegt. Bezüglich des Fachwissenstests wird der hohe Anspruch und die Menge an Aufgaben kritisiert, welches zudem zu einem hohen zeitlichen Aufwand bei der Aufgabebearbeitung führt. Die Studierenden heben im Gegenzug positiv hervor, dass eine angemessene Differenzierung mithilfe von Aufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades ermöglicht wird.

5.3 Hauptstudie

An der Hauptstudie nahmen im Wintersemester 2022/23 und im Wintersemester 2023/24 insgesamt $N = 375$ Studierende teil. Davon sind $N_{KG} = 254$ Studierende Teil der Kontrollgruppe, von denen 174 B.Sc. Bio-/Chemie-Studierende und 80 Chemielehramtsstudierende waren. Die Interventionsgruppe IG_VF bestand aus $N_{IG_VF} = 43$ Studierenden und die Interventionsgruppe IG_EF aus $N_{IG_EF} = 47$ Studierenden. Die Anzahl der Studierenden in den Interventionsgruppen IG_VS mit $N_{IG_VS} = 17$ und IG_ES mit $N_{IG_ES} = 14$ ist aufgrund der einmaligen Durchführung im Wintersemester 2022/23 geringer als die der weiteren Gruppen. In allen Gruppen sind mehr weibliche Studierende als männliche. Das durchschnittliche Alter der Studierenden ist in Interventionsgruppe IG_VS mit $M = 20.38$ ($SD = 2.53$) am höchsten und in Interventionsgruppe IG_VF mit $M = 19.54$ ($SD = 1.52$) am kleinsten. Durchschnittlich befinden sich die Studierenden zwischen dem ersten und zweiten Semester, wobei die maximal erfasste Semesteranzahl das fünfte Semester ist. Ein Überblick zur Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie ist in Tabelle 5-16 aufgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Stichproben aus Hauptstudie 1 und Hauptstudie 2 ist in Kapitel 11.5 dargestellt.

Tabelle 5-16: Überblick der Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie

Gruppe	N	Geschlecht (w / m / d / f)	Alter M (SD)	Semester M (SD)
KG B.Sc.	174	88/70/-/16	19.59 (1.75)	1.01 (0.09)
KG LA	80	34/30/-/16	19.95 (1.73)	1.41 (1.04)
IG_VF	43	26/17/-/-	19.54 (1.52)	1.03 (0.18)
IG_EF	47	30/17/-/-	19.55 (1.60)	1.21 (0.57)
IG_VS	17	10/7/-/-	20.38 (2.53)	1.67 (1.41)
IG_ES	14	10/4/-/-	19.75 (1.36)	1.00 (0.00)

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe, IG_VF: Video-Modeling-Example fremderstellt, IG_EF: Erklärvideo fremderstellt, IG_VS: Video-Modeling-Example selbsterstellt, IG_ES: Erklärvideo selbsterstellt, B.Sc.: Bachelor of Science-Studierende, LA: Lehramtsstudierende, w: weiblich, m: männlich, d: divers, f: fehlend

5.3.1 Ergebnisse zur Förderung und Erfassung des Fachwissens

Zur Erfassung des Wissenszuwachses der Lehramtsstudierenden aus der Kontrollgruppe und den Seminargruppen wurde ein Fachwissenstest bestehend aus Unterkategorien zu den behandelten Themen der Intervention durchgeführt. Vor der Untersuchung der Ergebnisse wurden die residualen Lernzuwächse auf Normalverteilung überprüft. Diese ist in allen Gruppen gegeben (Kapitel 11.6).

Am Prä-Test nahmen $N = 169$ Studierende teil, am Post-Test $N = 107$ Studierende und am Follow-Up-Test $N = 75$ Studierende. Tabelle 5-17 zeigt den Überblick zur deskriptiven Statistik des Fachwissenstests zu den erfassten Messzeitpunkten der Hauptstudie.

Tabelle 5-17: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Hauptstudie

Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Prä-Test	169	6.09 (3.15)	1.0	18.0
Post-Test	107	13.40 (4.63)	2.0	21.5
Follow-Up-Test	75	11.50 (4.44)	2.5	22.0

Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben wurde nach der Reliabilitätsanalyse des Fachwissenstests das Item *FW_SB6* mit negativer part-whole-korrigierter mittleren Trennschärfe ($r_{it} = -.003$) aus der Unterkategorie Säure-Base-Chemie entfernt (Tabelle 11-29). Der finale Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha entspricht für die Gesamtskala $\alpha = .88$ und somit weist das Messinstrument eine hohe interne Konsistenz auf. Die maximal zu erreichende Punktzahl liegt für den gesamten Fachwissenstest bei 24 BE. Der Übersichtlichkeit halber werden die insgesamt niedrigen Summenwerte (Bewertungseinheiten, BE) direkt angegeben, ohne sie in prozentuale Scores umzurechnen oder zu z-standardisieren. Durch die Beibehaltung der Originalwerte lassen sich die Effekte unmittelbar in erreichten Punkten des Fachwissenstests darstellen, was die direkte inhaltliche Interpretierbarkeit der Ergebnisse ermöglicht. Der Vergleich der mittleren Punktwerte zu den drei Messzeitpunkten des Fachwissenstests wird in Abbildung 5-1 dargestellt.

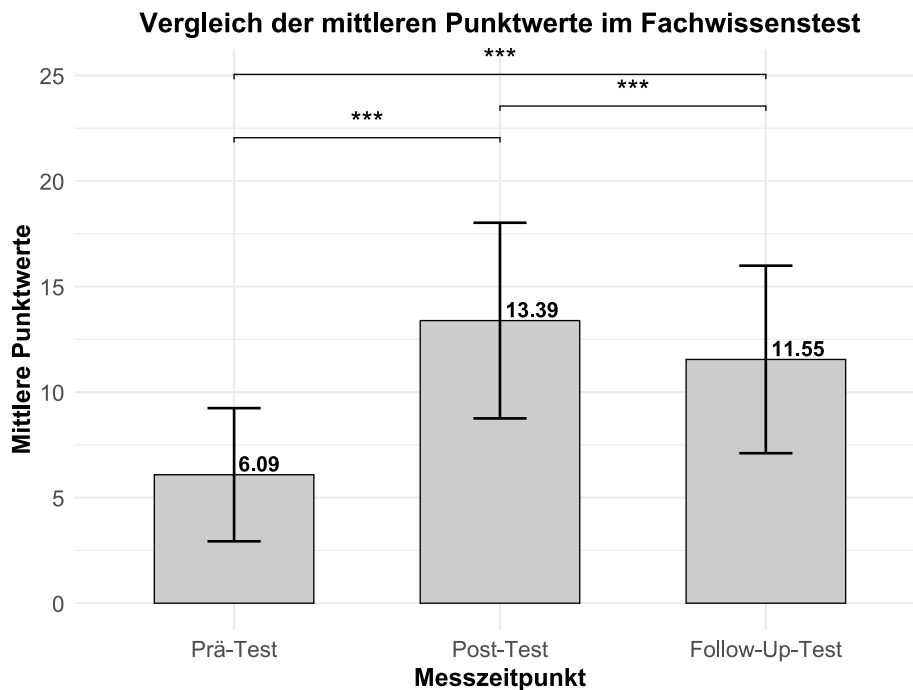


Abbildung 5-1: Vergleich der mittleren Punktwerte im Prä-, Post-, Follow-Up-Test – Hauptstudie

Die Analyse der Mittelwertsunterschiede mithilfe von Post-hoc t-Tests mit Bonferroni-Korrektur in Anschluss an eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung zeigt signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten (Abbildung 5-1). Im Durchschnitt erreichen die Studierenden die höchsten Bewertungseinheiten im Post-Test und die niedrigsten im Prä-Test. Die dargestellten Standardabweichungen zeigen zu allen drei Messzeitpunkten die hohe Varianz der gemessenen Fachwissensleistung der Studierenden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Fachwissenstest somit sowohl die Leistungen von sehr guten als auch von sehr schlechten Studierenden erfassen kann. Dies verdeutlicht auch die in Kapitel 4.2.1 dargestellte Berechnung der Itemschwierigkeiten, welche im Mittel bei .59 liegt.

Im Prä-Test erreichte die Kontrollgruppe durchschnittlich $M_{VKG} = 5.50$ BE ($SD = 3.14$), die Interventionsgruppe IG_VF erreichte durchschnittlich $M_{VIG_VF} = 6.30$ BE ($SD = 2.96$), Interventionsgruppe IG_EF $M_{VIG_EF} = 6.82$ BE ($SD = 3.63$), Interventionsgruppe IG_VS $M_{VIG_VS} = 5.73$ BE ($SD = 2.63$) und Interventionsgruppe IG_ES erreichte durchschnittlich $M_{VIG_ES} = 6.50$ BE ($SD = 2.33$). Interventionsgruppe IG_VF entspricht dabei der Gruppe der Studierenden, die im Anschluss an ein fremderstelltes Video-Modeling-Example eine

schriftliche Erklärung erstellten, während die Studierenden der Interventionsgruppe IG_EF die schriftliche Erklärung im Anschluss an ein fremderstelltes Erklärvideo erstellten. Interventionsgruppe IG_VS erstellte zu den Themen des Treatments jeweils ein Video-Modeling-Example selbst und Interventionsgruppe IG_ES erstellte Erklärvideos selbst.

Die Überprüfung der Mittelwertsunterschiede im Prä-Test zwischen den Gruppen zeigt, dass die Mittelwerte nicht signifikant voneinander abweichen ($F(4, 164) = 1.25, p = .292$). Somit ist kein signifikanter Unterschied der Gruppen zum Prä-Test vorhanden. Der Levene-Test zeigt, dass Varianzhomogenität zwischen den Gruppen gegeben ist ($F(4, 164) = 1.32, p = .266$).

Die Kontrollgruppe erreichte im Post-Test im Durchschnitt $M_{NKG} = 12.18$ BE ($SD = 4.57$), Interventionsgruppe IG_VF $M_{NIG_VF} = 13.38$ BE ($SD = 4.63$), Interventionsgruppe IG_EF $M_{NIG_EF} = 14.78$ BE ($SD = 4.43$), Interventionsgruppe IG_VS $M_{NIG_VS} = 11.00$ BE ($SD = 3.99$) und die Interventionsgruppe IG_ES erreichte $M_{NIG_ES} = 11.58$ BE ($SD = 5.34$). Damit erreichten alle Gruppen zum Post-Zeitpunkt im Mittel höhere Punktwerte als zum Prä-Zeitpunkt. Im Follow-Up-Test entsprach die durchschnittlich erreichte Punktzahl in der Kontrollgruppe $M_{FKG} = 10.12$ BE ($SD = 4.49$), in der Interventionsgruppe IG_VF $M_{FIG_VF} = 12.28$ BE ($SD = 3.73$), in der Interventionsgruppe IG_EF $M_{FIG_EF} = 12.48$ BE ($SD = 4.33$), in der Interventionsgruppe IG_VS $M_{FIG_VS} = 12.75$ BE ($SD = 5.46$) und in der Interventionsgruppe IG_ES $M_{FIG_ES} = 10.12$ BE ($SD = 5.50$).

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Methoden des Selbsterstellens von Lernvideos sowie des Verfassens schriftlicher Erklärungen im Anschluss an Lernvideos werden die Interventionsgruppen unabhängig von der spezifischen Art des erstellten Lernvideos zusammengefasst betrachtet. Die Gruppen, die entweder Video-Modeling-Examples oder Erklärvideos produzierten, werden im Folgenden als Interventionsgruppe IG_LV bezeichnet. Die Gruppen, die nach dem Ansehen von Video-Modeling-Examples oder Erklärvideos schriftliche Erklärungen erstellten, werden gemeinsam als Interventionsgruppe IG_SE zusammengefasst. Zur Analyse der mittleren Punktverläufe der Kontrollgruppe sowie der Interventionsgruppen IG_LV und IG_SE über die drei Messzeitpunkte hinweg wird ein gemischtes lineares Regressionsmodell angewendet. Diese Analyse bildet die Grundlage zur Beantwortung der Forschungsfragen 1 und 2.1. Die Ergebnisse sind in

Tabelle 5-18 dargestellt und werden im weiteren Verlauf zur Prüfung der Hypothesen herangezogen. Als Referenzgruppe dient in der vorliegenden Analyse zunächst die Kontrollgruppe.

Tabelle 5-18: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Kontrollgruppe (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie

	b	SE	t	p
Konstante	5.69	0.47	12.24	<.001
MZP 2	6.65	0.71	9.31	<.001
MZP 3	3.40	0.74	4.62	<.001
IG_SE	0.73	0.63	1.16	.247
IG_LV	0.18	0.84	0.22	.829
MZP 2: IG_SE	0.98	0.82	1.19	.235
MZP 3: IG_SE	2.23	0.90	2.49	.014
MZP 2: IG_LV	-1.05	1.13	-0.93	.355
MZP 3: IG_LV	2.61	1.29	2.02	.045

R^2 marginal = .44; R^2 konditional = .78

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Tabelle 5-19: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit IG_SE (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie

	b	SE	t	p
Konstante	6.42	0.43	14.99	<.001
MZP 2	7.63	0.68	9.77	<.001
MZP 3	5.63	0.70	4.82	<.001
KG	-0.73	0.63	-1.16	.247
IG_LV	-0.54	0.83	-0.65	.516
MZP 2: KG	-0.98	0.82	-1.19	.235
MZP 3: KG	-2.23	0.90	-2.49	.014
MZP 2: IG_LV	-2.03	0.97	-2.10	.037
MZP 3: IG_LV	0.38	1.18	0.32	.747

R^2 marginal = .44; R^2 konditional = .78

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Zur weiterführenden Untersuchung im Rahmen der Forschungsfrage 3 wird zusätzlich ein weiteres gemischtes lineares Regressionsmodell berechnet, in dem die

Interventionsgruppe IG_SE zum Prä-Test-Zeitpunkt als Referenzgruppe definiert wird (Tabelle 5-19). Dies ermöglicht den ergänzenden Vergleich im Lernzuwachs zwischen beiden Interventionsgruppen.

Darüber hinaus wird zur Beantwortung der Forschungsfragen 1 sowie 2.1 eine Subanalyse der einzelnen im Fachwissenstest erfassten Themen der Interventionen durchgeführt. Für jedes Thema kommt ein gemischtes lineares Regressionsmodell zur Anwendung, wobei die Kontrollgruppe jeweils als Referenzgruppe dient (Tabelle 5-20).

Tabelle 5-20: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Kontrollgruppe (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie – thematische Analyse

	VSEPR-Theorie		Säure-Base-Chemie		Redoxchemie	
	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>
Konstante	1.89	<.001	0.36	.011	2.34	<.001
Prä-Test	-	-	0.75	<.001	-	-
MZP 2	2.47	<.001	3.00	<.001	1.18	<.001
MZP 3	1.25	<.001	0.44	.160	1.22	<.001
IG_SE	0.49	.091	0.13	.419	-0.09	.741
IG_LV	0.10	.805	0.08	.734	0.11	.770
MZP 2: IG_SE	0.70	.089	-0.30	.321	0.52	.174
MZP 3: IG_SE	1.50	<.001	0.87	.019	0.13	.751
MZP 2: IG_LV	-0.54	.344	-0.54	.188	0.01	.990
MZP 3: IG_LV	1.44	.025	2.59	<.001	-0.38	.527
	R^2 marginal = .42; R^2 konditional = .71		R^2 marginal = .72; R^2 konditional = .73		R^2 marginal = .15; R^2 konditional = .61	

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Aufgrund signifikanter Vorwissensunterschiede im Bereich der Säure-Base-Chemie zwischen der Gruppe IG_SE und der Kontrollgruppe ($b = 0.48$, $p = .034$) werden die Ergebnisse des Prä-Tests als Kovariate in das Regressionsmodell aufgenommen¹¹.

¹¹ Die detaillierte Darstellung der thematischen Analyse ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Der gesamte Fachwissenstest wird zudem einem Extremgruppenvergleich unterzogen. Um weitere Rückschlüsse bezüglich der Eignung der Intervention ziehen zu können, wird ergänzend ein Mediansplit durchgeführt. Auf dieser Grundlage soll geprüft werden, ob die Unterschiede zwischen den Gruppen auf das primär bessere oder schlechtere Perzentil zurückzuführen sind. Der Mediansplit basiert hierbei auf den Ergebnissen des Prä-Tests aller Studierenden. Anhand dieses Wertes werden zwei Extremgruppen gebildet: Studierende mit Testergebnissen unterhalb des Medians sowie Studierende mit Testergebnissen oberhalb des Medians. Aufgrund geringer Stichprobengröße wird sowohl auf den Vergleich der Perzentile als auch auf die Analyse der Mittelwertunterschiede im Follow-Up-Test verzichtet. Die Extremgruppen werden mithilfe eines gemischten linearen Regressionsmodells mit der Interventionsgruppe IG_LV verglichen, wobei die IG_LV-Gruppe unterhalb des Medians als Referenzgruppe dient.

Tabelle 5-21: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit IG_LV (uM) als Referenzgruppe – Hauptstudie – Extremgruppenanalyse

	b	SE	t	p
Konstante	4.31	0.68	6.30	<.001
MZP 2	5.25	1.04	5.06	<.001
KG uM	-0.99	0.81	-1.22	.223
KG oM	4.08	0.85	4.77	<.001
IG_SE uM	-0.32	0.80	-0.41	.685
IG_SE oM	4.91	0.81	6.10	<.001
IG_LV oM	4.03	1.03	3.92	<.001
MZP 2: KG uM	1.88	1.36	1.39	.167
MZP 2: KG oM	0.67	1.42	0.47	.640
MZP 2: IG_SE uM	2.51	1.17	2.14	.034
MZP 2: IG_SE oM	2.37	1.17	2.03	.044
MZP 2: IG_LV oM	0.80	1.65	0.49	.628

$R^2_{\text{marginal}} = .74$; $R^2_{\text{konditional}} = .81$

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos; uM: unterhalb des Medians; oM: oberhalb des Medians

Zum Vergleich der Extremgruppen mit der IG_LV-Gruppe oberhalb des Medians wird diese in einem weiteren gemischten linearen Regressionsmodell als Referenzgruppe definiert (Tabelle 5-22).

Tabelle 5-22: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit IG_LV (oM) als Referenzgruppe – Hauptstudie – Extremgruppenanalyse

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	8.33	0.77	10.88	<.001
MZP 2	6.05	1.28	4.73	<.001
KG uM	-5.01	0.88	-5.69	<.001
KG oM	0.05	0.92	0.06	.955
IG_SE uM	-4.35	0.88	-4.97	<.001
IG_SE oM	0.88	0.88	1.01	.314
IG_LV uM	-4.03	1.03	-3.92	<.001
MZP 2: KG uM	1.08	1.55	0.70	.485
MZP 2: KG oM	-0.13	1.61	-0.08	.935
MZP 2: IG_SE uM	1.71	1.39	1.23	.220
MZP 2: IG_SE oM	1.57	1.39	1.13	.258
MZP 2: IG_LV uM	-0.80	1.65	-0.49	.628

R^2 marginal = .74; R^2 konditional = .81

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos; uM: unterhalb des Medians; oM: oberhalb des Medians

Nachfolgend werden die deskriptiven und inferenzstatistischen Analysen zur Untersuchung der Forschungsfragen dargestellt.

FF 1: *Inwieweit führt das Selbsterstellen von Lernvideos in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben?*

Zur Untersuchung, inwieweit das Selbsterstellen von Lernvideos effektiver für den Lernerfolg ist als das Bearbeiten von Übungsaufgaben, wird die erste Forschungsfrage untersucht. Die Analyse der Ergebnisse hinsichtlich der Forschungsfrage 1 erfolgt aufgrund geringer Stichprobengröße ohne die Differenzierung in Bezug auf die Art der erstellten Lernvideos. In Tabelle 5-23 sind die deskriptiven Statistiken der IG_LV und der Kontrollgruppe dargestellt. Die Studierenden beider Gruppen erreichen zwischen Prä- und Post-Test im Mittel eine gesteigerte Punktzahl. Diese sinkt in der Kontrollgruppe zum Follow-Up-Zeitpunkt und steigt in der Gruppe IG_LV.

Tabelle 5-23: Deskriptive Statistik – Kontrollgruppe und Interventionsgruppe
IG_LV – Hauptstudie

Messzeitpunkt Gruppe	Prä-Test		Post-Test		Follow-Up-Test	
	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>
KG	64	5.50 (3.14)	20	12.18 (4.57)	25	10.12 (4.49)
IG_LV	27	6.07 (2.48)	14	11.25 (4.43)	10	11.70 (5.33)

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Der Verlauf der im Mittel erreichten Punktzahlen zwischen den drei Messzeitpunkten wird anhand eines gemischten linearen Regressionsmodells analysiert (Tabelle 5-18). Der Lernzuwachs der Gruppe IG_LV wird dabei zum Lernzuwachs der Kontrollgruppe in Bezug gesetzt, welche als Referenzgruppe dient. In Tabelle 5-18 wird ersichtlich, dass sich die Gruppen weder zum Prä-Test-Zeitpunkt ($b = 0.23$; $p = .775$) noch im Lernzuwachs zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt signifikant unterscheiden ($b = -0.98$; $p = .363$). Jedoch erreicht die Gruppe IG_LV im Verlauf zum dritten Messzeitpunkt mit einem Regressionskoeffizienten von $b = 2.61$ einen signifikant höheren Lernzuwachs als die Kontrollgruppe, $p = .045$. Mit $R^2_{\text{marginal}} = .44$ liegt die Varianzaufklärung bezüglich der festen Effekte bei 44 % und mit $R^2_{\text{konditional}} = .78$ bei 78 % bezüglich der festen und zufälligen Effekte.

Im Folgenden wird das Fachwissen in Bezug auf die einzelnen Themenbereiche analysiert. Diese sind VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie. Die deskriptive Übersicht in Tabelle 5-24 zeigt, dass die Interventionsgruppen der Lernvideos im Prä-Test jeweils tendenziell höhere Punktzahlen erreichen. Im Post-Test erreicht hingegen die Kontrollgruppe in allen Themen die höhere durchschnittliche Punktzahl. Zum Follow-Up-Test konnte die Interventionsgruppe IG_LV in den Themenbereichen VSEPR-Theorie und Säure-Base-Chemie erneut höhere Punktzahlen im Mittel erreichen. In der Redoxchemie erzielte die Kontrollgruppe weiterhin eine höhere Punktzahl.

Tabelle 5-24: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest thematisch unterteilt – Hauptstudie Gruppen KG und IG_LV

Messzeitpunkt Thema	Gruppe	Prä-Test		Post-Test		Follow-Up-Test	
		N	M (SD)	N	M (SD)	N	M (SD)
VSEPR	KG	64	1.90 (1.32)	20	4.30 (2.15)	25	3.40 (1.73)
	IG_LV	27	2.07 (1.06)	14	4.07 (1.36)	10	4.55 (2.03)
SB	KG	64	1.46 (1.08)	20	4.40 (1.51)	25	2.86 (1.66)
	IG_LV	27	1.78 (1.01)	14	3.86 (2.09)	10	3.75 (1.83)
Redox	KG	64	2.14 (1.45)	20	3.48 (1.79)	24	3.88 (2.10)
	IG_LV	26	2.31 (1.18)	14	3.32 (1.98)	10	3.25 (1.93)

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos; VSEPR: VSEPR-Theorie; SB: Säure-Base-Chemie; Redox: Redoxchemie

Um den Lernzuwachs in den Gruppen für die einzelnen Themen zu vergleichen, wird jeweils ein gemischtes lineares Modell mit der Kontrollgruppe als Referenz gewählt (Tabelle 5-20).

Im Themengebiet VSEPR-Theorie zeigt die Gruppe IG_LV keinen signifikant unterschiedlichen Lernzuwachs zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt ($b = -0.54$; $p = .344$). Jedoch erreicht die Gruppe im Verlauf zwischen dem ersten und dritten Messzeitpunkt einen höheren Wissenserwerb als die Kontrollgruppe ($b = 1.44$; $p = .025$). Ein vergleichbarer Trend zeigt sich im Themengebiet der Säure-Base-Chemie. Zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt bestehen keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs ($b = -0.54$; $p = .188$). Die Gruppe IG_LV erreicht jedoch zwischen dem ersten und dritten Messzeitpunkt einen signifikant höheren Wissenserwerb als die Kontrollgruppe ($b = 2.59$; $p = <.001$).

Für das Themengebiet Redoxchemie lassen sich diese Effekte nicht nachweisen. Es treten weder zwischen Prä- und Post-Test noch zwischen Prä- und Follow-Up-Test signifikante Unterschiede auf. Die Kontrollgruppe erzielt im Bereich der Säure-Base-Chemie keinen signifikanten Lernzuwachs zwischen Prä- und Follow-Up-Test ($b = 0.44$, $p = .160$).

FF 2.1: *Inwieweit führt das Erstellen von schriftlichen Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben?*

Zur Untersuchung der Forschungsfrage 2.1 erfolgt eine vergleichende Analyse der Kontrollgruppe mit den Interventionsgruppen, welche in der Übungsphase Lernvideos erhalten und schriftliche Erklärungen im Anschluss an diese erstellt haben. Wie in Kapitel 4.1 erläutert, wurden im zweiten Durchlauf der Hauptstudie lediglich die Kontrollgruppe und die Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF beibehalten. Die differenzierte Analyse des Lernzuwachses aller Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe wurde mit dem gesamten Datensatz der Hauptstudie durchgeführt. Zur Untersuchung, ob es signifikante Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den Gruppen der Hauptstudie 1 und 2 gibt, wird jeweils ein t-Test für unabhängige Stichproben anhand der z-standardisierten Residuen aus Prä- und Posttest durchgeführt (Tabelle 5-25).

Tabelle 5-25: t-Test für unabhängige Stichproben zwischen den Gruppen der Hauptstudie 1 und Hauptstudie 2 – Fachwissenstest Prä-Post

Fachwissenstest	<i>N</i> (HS1/HS2)	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Kontrollgruppe	8/10	0.32	16	.752	.15
Interventionsgruppe VF	9/23	1.03	30	.311	.41
Interventionsgruppe EF	9/27	1.94	25.9	.064	.56

Anmerkungen: HS: Hauptstudie; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Da keine signifikanten Unterschiede in den Gruppen zwischen der Hauptstudie 1 und 2 festzustellen sind, werden die Studierenden der beiden Durchläufe der Hauptstudie für die gesamten Analysen zusammengefasst.

Für den Vergleich werden die Interventionsgruppen *schriftliche Erklärungen im Anschluss an fremderstellte Video-Modeling-Examples* und *fremderstellte Erklärvideos* zur Gruppe *Schriftliche Erklärungen* (IG_SE) zusammengefasst. Die deskriptive Übersicht zur Gruppe IG_SE ist in Tabelle 5-26 dargestellt. Die Studierenden erzielen im Post-Test im Mittel eine höhere Punktzahl als im Prä-Test. Diese nimmt zum Follow-Up-Test wieder ab.

Tabelle 5-26: Deskriptive Statistik – Interventionsgruppe IG_SE – Hauptstudie

Messzeitpunkt Gruppe	Prä-Test		Post-Test		Follow-Up-Test	
	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>
IG_SE	78	6.57 (3.32)	73	14.13 (4.55)	40	12.40 (4.05)

Anmerkung: IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen

Die Untersuchung des Wissenszuwachses erfolgt anhand eines gemischten linearen Regressionsmodells mit der Kontrollgruppe als Referenz zum Messzeitpunkt 1 (Tabelle 5-18). Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede im Vorwissen zwischen der Referenzgruppe und der Kontrollgruppe. Der Lernzuwachs der Interventionsgruppe IG_SE zwischen Prä- und Post-Test ist mit einem Regressionskoeffizienten $b = 0.98$ deskriptiv höher im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Lernzuwächse unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander ($p = .235$).

In Bezug auf den Lernzuwachs zwischen Prä- und Follow-Up-Test ist festzustellen, dass die Interventionsgruppen IG_SE einen signifikant höheren Lernzuwachs beibehalten konnten als die Kontrollgruppe ($b = 2.23, p = .014$). Der Regressionskoeffizient in der Kontrollgruppe liegt zwischen dem ersten und dritten Messzeitpunkt bei $b = 3.40$ und deutet mit $p = <.001$ auf einen signifikant höheren Wissensstand zum Follow-Up-Zeitpunkt verglichen zum Prä-Zeitpunkt hin.

Zur weiteren Untersuchung werden die Gruppen in Bezug auf die Themen der Intervention analysiert. In Tabelle 5-27 ist die deskriptive Übersicht der Studierenden zu den einzelnen Themen jeweils zum Prä-, Post- und Follow-Up-Test dargestellt. Es zeigt sich, dass die Kontrollgruppe im Durchschnitt tendenziell geringere Punktzahlen in den Prä-Tests und auch den Post-Tests erreicht als die Studierenden der Gruppe IG_SE. Lediglich im Follow-Up-Test zum Thema Redoxchemie erreicht die Kontrollgruppe eine höhere mittlere Punktzahl. In allen Gruppen ist festzustellen, dass sich die mittlere Punktzahl zu jedem Thema von dem ersten zum zweiten Messzeitpunkt erhöht und zum dritten Messzeitpunkt wieder sinkt, bis auf der Kontrollgruppe zu dem Thema Redoxchemie.

Tabelle 5-27: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest thematisch unterteilt – Hauptstudie Gruppen KG und IG_SE

Messzeitpunkt		Prä-Test		Post-Test		Follow-Up-Test	
Thema	Gruppe	N	M (SD)	N	M (SD)	N	M (SD)
VSEPR	KG	64	1.90 (1.32)	20	4.30 (2.15)	25	3.40 (1.73)
	IG_SE	77	2.45 (1.58)	73	5.58 (2.19)	40	5.18 (2.04)
SB	KG	64	1.46 (1.08)	20	4.40 (1.51)	25	2.86 (1.66)
	IG_SE	78	2.02 (1.13)	73	4.64 (1.48)	40	3.34 (1.33)
Redox	KG	64	2.14 (1.45)	20	3.48 (1.79)	24	3.88 (2.10)
	IG_SE	75	2.21 (1.57)	73	3.91 (1.96)	39	3.70 (1.72)

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; VSEPR: VSEPR-Theorie; SB: Säure-Base-Chemie; Redox: Redoxchemie

Die vergleichende Analyse in Hinblick auf den Lernzuwachs erfolgt anhand des gemischten linearen Regressionsmodells. Die Referenzgruppe ist jeweils die Kontrollgruppe. Ein Überblick zu den Ergebnissen ist Tabelle 5-20 zu entnehmen. In keinem der drei untersuchten Themenbereiche zeigen die Lernenden der Interventionsgruppe IG_SE im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikante Zuwächse zwischen Prä- und Post-Test.

Hinsichtlich des Lernzuwachses zwischen Prä- und Follow-Up-Test erzielt die Gruppe IG_SE sowohl im Bereich der VSEPR-Theorie ($b = 1.50$; $p = <.001$) als auch in der Säure-Base-Chemie ($b = 0.87$; $p = .019$) signifikant höhere Lernzuwächse als die Kontrollgruppe. Im Themenbereich Redoxchemie zeigen sich hingegen zwischen dem ersten und dritten Messzeitpunkt keine signifikanten gruppenspezifischen Unterschiede ($b = 0.13$; $p = .751$).

Zur detaillierten Analyse der Gruppenunterschiede werden im Rahmen der Forschungsfrage 2.2 die Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF einzeln mit der Kontrollgruppe verglichen.

FF 2.2: *Wirken sich der Einsatz von Erklärvideos und Video-Modeling-Examples unterschiedlich auf den Lernzuwachs von Chemie-Lehramtsstudierenden aus?*

Dies erfolgt mithilfe eines gemischten linearen Regressionsmodells, wobei die Interventionsgruppe IG_EF zum ersten Messzeitpunkt als Referenzgruppe dient (Tabelle 5-28). Mit IG_EF können sowohl IG_VF als auch die Kontrollgruppe verglichen werden.

Die Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant in den Ergebnissen des Prä-Tests (Tabelle 5-28). Hinsichtlich des Lernzuwachses zwischen Prä- und Post-Test sind folgende Ergebnisse feststellbar: Der Regressionskoeffizient $b = -1.35$ deutet auf geringeren Lernzuwachs der Kontrollgruppe im Vergleich zum Lernzuwachs der Referenzgruppe IG_EF hin. Auch die Interventionsgruppe IG_VF erreicht im Vergleich zur Gruppe IG_EF einen geringeren Lernzuwachs ($b = -0.80$). Die Unterschiede sind jedoch in beiden Vergleichen nicht signifikant.

Tabelle 5-28: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_VF und IG_EF

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	6.67	0.59	11.29	<.001
MZP 2	8.00	0.56	14.22	<.001
MZP 3	5.44	0.68	8.04	<.001
KG	-0.95	0.75	-1.27	.204
IG_VF	-0.54	0.87	-0.63	.530
MZP 2: KG	-1.35	0.92	-1.47	.144
MZP 3: KG	-2.01	1.01	-1.99	.048
MZP 2: IG_VF	-0.80	0.82	-0.97	.333
MZP 3: IG_VF	0.49	1.05	0.47	.642

R^2 marginal = .45; R^2 konditional = .78

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Bezüglich der Nachhaltigkeit des Lernzuwachses erfolgt der Vergleich der Gruppen hinsichtlich des Lernzuwachses zwischen Prä- und Follow-Up-Test. Diesbe-

züglich unterscheidet sich die Kontrollgruppe signifikant von der Interventionsgruppe IG_EF mit $b = -2.01$ und $p = 0.48$. Die Interventionsgruppe IG_VF unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von der Gruppe IG_EF ($b = 0.49$, $p = .642$). Die Wahl der Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe¹² zeigt zusätzlich einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe IG_VF und der Kontrollgruppe hinsichtlich des Lernzuwachses zwischen Prä- und Follow-Up-Test ($b = -2.50$; $p = .024$).

Abbildung 5-2 visualisiert den Lernzuwachs zwischen dem ersten, zweiten sowie dritten Messzeitpunkt der Kontrollgruppe und der Interventionsgruppen, welche Lernvideos erhalten haben und im Anschluss schriftliche Erklärungen formulierten. Es sind dabei die Mittelwerte und Standardabweichungen für die jeweiligen Gruppen dargestellt.

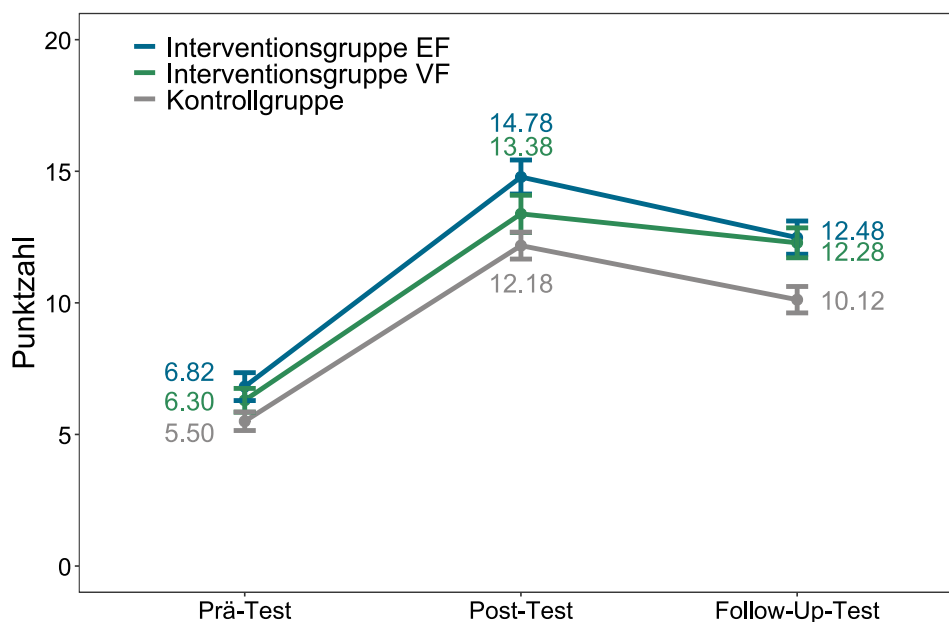


Abbildung 5-2: Vergleich des mittleren Lernzuwachses der Interventionsgruppen EF (Erklärvideo fremderstellt), VF (Video-Modeling-Example fremderstellt) und der Kontrollgruppe zwischen Prä-, Post-, und Follow-Up-Test – Hauptstudie

¹² Die detaillierte Darstellung der thematischen Analyse zur Forschungsfrage 2.2 ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Für die Analyse des Lernzuwachses in Bezug auf die Themen der Intervention mit fremderstellten Videos und Erklärungen wird ebenfalls eine gemischte lineare Regression durchgeführt. Um zunächst einen Überblick über die Punktwerte in den einzelnen Themenbereichen zu erhalten, werden die Ergebnisse deskriptiv dargestellt. Der deskriptiven Statistik in Tabelle 5-29 ist zu entnehmen, dass die Interventionsgruppe IG_EF im Prä-Test zu den Themen VSEPR-Theorie ($M = 2.62$; $SD = 1.74$) und Säure-Base-Chemie ($M = 2.05$; $SD = 1.21$) die höchste Punktzahl erzielt. Im Themengebiet Redoxchemie ist dies die Interventionsgruppe IG_VF ($M = 2.22$; $SD = 1.53$). Im Post-Test erreicht die Interventionsgruppe IG_EF in allen Themen die besseren Ergebnisse. Im Follow-Up-Test erzielt die Interventionsgruppe IG_VF zum Thema VSEPR-Theorie die höchste Leistung ($M = 5.34$; $SD = 1.97$), zum Thema Säure-Base-Chemie die Interventionsgruppe IG_EF ($M = 3.50$; $SD = 1.47$) und zum Thema Redoxchemie die Kontrollgruppe ($M = 3.88$; $SD = 2.10$).

Tabelle 5-29: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest thematisch unterteilt – Hauptstudie Gruppen KG, IG_VF und IG_EF

Messzeitpunkt		Prä-Test		Post-Test		Follow-Up-Test	
Thema	Gruppe	N	M (SD)	N	M (SD)	N	M (SD)
VSEPR	KG	64	1.90 (1.32)	20	4.30 (2.15)	25	3.40 (1.73)
	IG_VF	37	2.27 (1.39)	34	5.34 (2.24)	16	5.34 (1.97)
	IG_EF	40	2.62 (1.74)	39	5.79 (2.16)	24	5.06 (2.12)
SB	KG	64	1.46 (1.08)	20	4.40 (1.54)	25	2.86 (1.66)
	IG_VF	37	1.99 (1.04)	34	4.56 (1.57)	16	3.09 (1.07)
	IG_EF	41	2.05 (1.21)	39	4.71 (1.41)	24	3.50 (1.47)
Redox	KG	64	2.14 (1.45)	20	3.48 (1.79)	24	3.88 (2.10)
	IG_VF	34	2.22 (1.53)	34	3.49 (1.86)	16	3.72 (1.80)
	IG_EF	41	2.21 (1.62)	39	4.28 (1.99)	23	3.69 (1.71)

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt; VSEPR: VSEPR-Theorie; SB: Säure-Base-Chemie; Redox: Redoxchemie

Eine vergleichende Darstellung der mittleren Lernzuwächse in den Gruppen zwischen Prä-, Post- und Follow-Up-Test hinsichtlich der Themenbereiche ist in Abbildung 5-3 zu sehen.

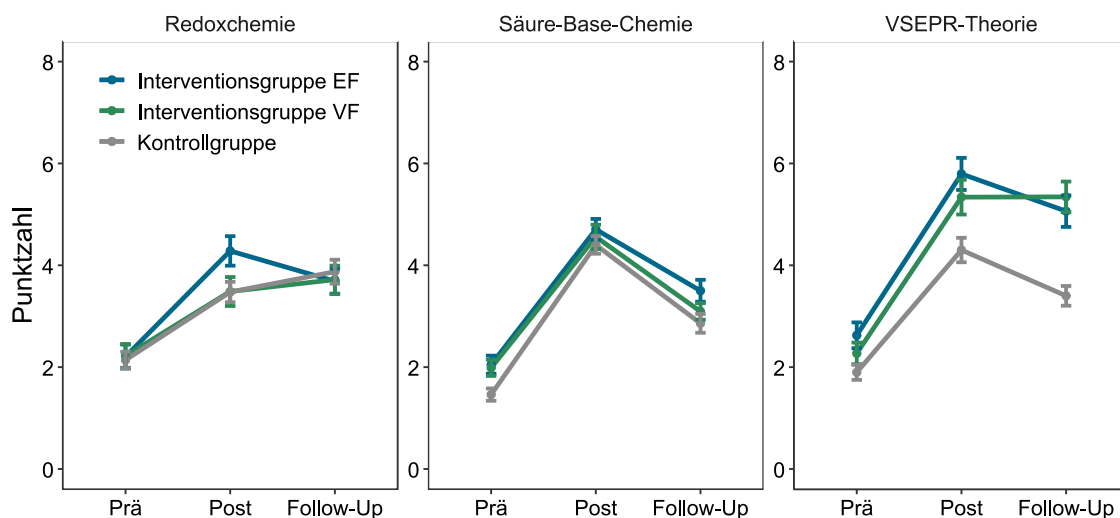


Abbildung 5-3: Vergleich des mittleren Lernzuwachses zwischen Prä-, Post-, und Follow-Up-Test – Thematische Darstellung – Hauptstudie (EF: Erklärvideos fremderstellt, VF: Video-Modeling-Example fremderstellt)

In Bezug auf den Lernzuwachs vom Prä- zum Post-Test ist in der Tabelle 5-30 ersichtlich, dass die Referenzgruppe IG_EF im Themenbereich VSEPR-Theorie keinen signifikant höheren Lernzuwachs hat als die Kontrollgruppe ($b = -0.74$; $p = .123$) und als die Interventionsgruppe IG_VF ($b = -0.07$; $p = .873$).

Aufgrund signifikanter Unterschiede im Vorwissen im Themengebiet Säure-Base-Chemie zwischen der Referenzgruppe und der Kontrollgruppe ($p = .034$) wird das Prä-Test-Ergebnis als Kovariate in das Regressionsmodell aufgenommen (Tabelle 11-72 ff.). Auch im Themenbereich Säure-Base-Chemie unterscheidet sich der Lernzuwachs in den Interventionsgruppen nicht voneinander ($b = 0.02$, $p = .937$). Unterschiede im Lernzuwachs sind im Themengebiet der Redoxchemie zu erkennen. Sowohl die Kontrollgruppe hat einen signifikant geringeren Lernzuwachs als die Interventionsgruppe IG_EF erreicht ($b = -0.89$; $p = .036$) als auch die Interventionsgruppe IG_VF ($b = -0.79$, $p = .042$).

Zwischen dem ersten und dritten Messzeitpunkt finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventionsgruppe IG_EF und den Gruppen KG und IG_VF in dem Themenbereich Redoxchemie (Tabelle 5-30). In den Themenbereichen der VSEPR-Theorie ($b = -1.19$, $p = .021$) und Säure-Base-Chemie ($b = -0.93$, $p = .020$) hingegen sind signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe IG_EF und der Kontrollgruppe vorhanden.

Tabelle 5-30: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_VF und IG_EF – thematische Analyse

	VSEPR-Theorie		Säure-Base-Chemie		Redoxchemie	
	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>
Konstante	2.53	<.001	0.53	.004	2.14	<.001
Prä-Test	-	-	0.74	<.001	-	-
MZP 2	3.21	<.001	2.69	<.001	2.07	<.001
MZP 3	2.46	<.001	1.37	<.001	1.39	<.001
KG	-0.63	.077	-0.15	.427	0.13	.706
IG_VF	-0.31	.442	-0.02	.940	0.02	.957
MZP 2: KG	-0.74	.123	0.31	.348	-0.89	.036
MZP 3: KG	-1.19	.021	-0.93	.020	-0.17	.720
MZP 2: IG_VF	-0.07	.873	0.02	.937	-0.79	.042
MZP 3: IG_VF	0.71	.194	-0.15	.678	-0.05	.915
	$R^2_{\text{marginal}} = .42;$ $R^2_{\text{konditional}} = .70$		$R^2_{\text{marginal}} = .73;$ $R^2_{\text{konditional}} = .73$		$R^2_{\text{marginal}} = .17;$ $R^2_{\text{konditional}} = .63$	

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Die Wahl der Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe zeigt des Weiteren auch signifikante Unterschiede zwischen ersten und dritten Messzeitpunkt zur Kontrollgruppe hinsichtlich des Themenbereichs VSEPR-Theorie (Tabelle 11-76). Der Regressionskoeffizient entspricht $b = -1.91$ und zeigt eine Signifikanz von $p = <.001$.

Um den Lernzuwachs der Chemielehramtsstudierenden mit den B.Sc. Biochemie- und Chemie-Studierenden zur vergleichen, welche ebenfalls die Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie besuchen, wird ein gemischtes lineares Regressionsmodell angewendet. Da die Bachelorstudierende kein Treatment erhalten, zählen sie als weitere Kontrollgruppe. Wie in Tabelle 5-31 angegeben, erreichten sie im Mittel im Prä-Test eine Punktzahl von $M = 7.14$ ($SD = 3.95$), im Post-Test $M = 15.50$ ($SD = 4.44$) und im Follow-Up-Test $M = 13.27$ ($SD = 4.32$). Sie erzielen somit sowohl im Post- als auch im Follow-Up-Test durchschnittlich mehr Punkte als im Prä-Test. Die durchschnittliche Punktzahl war im Post-Test jedoch am höchsten.

Tabelle 5-31: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Hauptstudie – Bachelor of Science-Studierende

Messzeitpunkt Gruppe	Prä-Test		Post-Test		Follow-Up-Test	
	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>
B.Sc.	159	7.14 (3.95)	95	15.50 (4.44)	66	13.27 (4.32)

Anmerkungen: B.Sc.: Studierende des Studiengangs Bachelor of Science Bio-/Chemie

Um den Lernzuwachs der Studierende des Studiengangs B.Sc. Bio-/Chemie mit den Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe, die aus Lehramtsstudierenden besteht, vergleichen zu können, wird die Gruppe der Bachelorstudierenden zum ersten Messzeitpunkt als Referenzgruppe im Regressionsmodell gewählt (Tabelle 5-32). Aufgrund signifikanter Vorwissensunterschiede zwischen der Referenzgruppe und der Kontrollgruppe der Lehramtsstudierenden mit $p = .017$ wird der Prä-Test als Kovariate in das Modell aufgenommen (Tabelle 11-77).

Tabelle 5-32: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Gruppe B.Sc. Bio-/Chemie als Referenzgruppe – Hauptstudie

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	1.06	0.27	3.88	<.001
Prä-Test	0.85	0.03	30.13	<.001
MZP 2	8.33	0.29	28.57	<.001
MZP 3	5.91	0.34	17.41	<.001
KG	-0.24	0.34	-0.70	.486
IG_VF	-0.13	0.42	-0.30	.764
IG_EF	-0.04	0.40	-0.10	.917
MZP 2: KG	-1.81	0.66	-2.75	.006
MZP 3: KG	-4.05	0.80	-5.06	<.001
MZP 2: IG_VF	-1.08	0.59	-1.81	.071
MZP 3: IG_VF	-0.36	0.75	-0.48	.628
MZP 2: IG_EF	-0.29	0.57	-0.52	.603
MZP 3: IG_EF	-0.52	0.67	-0.78	.435

R^2 marginal = .83; R^2 konditional = .85

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt; B.Sc.: Studierende des Studiengangs Bachelor of Science Bio-/Chemie

Es zeigt sich, dass die Bachelorstudierenden sowohl vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt ($b = -1.81$; $p = .006$) also auch zum dritten Messzeitpunkt ($b = -4.05$; $p = <.001$) einen signifikant höheren Lernzuwachs haben als die Kontrollgruppe der Lehramtsstudierenden. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den Bachelorstudierenden und den Lehramtsstudierenden, die an den Interventionen teilgenommen haben. Mit R^2 marginal = .83 konnten 83 % der Varianz der festen Effekte aufgeklärt werden.

FF 3: *Führt das Selbsterstellen von Lernvideos oder das Erstellen schriftlicher Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo zu einem höheren Lernerfolg von Chemie-Lehramtsstudierenden?*

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 3 wird der Lernzuwachs der Interventionsgruppen IG_SE (IG_VF und IG_EF) mit dem Lernzuwachs der Interventionsgruppen IG_LV (IG_VS und IG_ES) verglichen. In Tabelle 5-23 sowie Tabelle 5-26 sind die deskriptiven Statistiken beider Gruppen zu den Messzeitpunkten Prä, Post und Follow-Up dargestellt. Der Lernzuwachs steigt in beiden Gruppen vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt an. In der Gruppe IG_SE sinkt die durchschnittlich erreichte Punktzahl zum dritten Messzeitpunkt mit $\Delta = -1.73$ BE, während sie in der Gruppe IG_LV mit einer mittleren Differenz von $\Delta = 0.45$ BE leicht ansteigt.

Zur Auswertung des Lernzuwachses zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt und der Nachhaltigkeit des Lernzuwachses zwischen dem ersten und dritten Messzeitpunkt wird ein gemischtes lineares Regressionsmodell eingesetzt. In Bezug auf den Lernzuwachs, wird dabei der Lernzuwachs der Gruppe IG_LV mit dem Lernzuwachs der Gruppe IG_SE, die als Referenzgruppe dient, verglichen (Tabelle 5-19). Es findet sich kein signifikanter Unterschied zwischen dem mittleren Prä-Test-Ergebnis der Gruppe IG_LV und dem der Referenzgruppe IG_SE ($p = .516$). Jedoch erreicht die Gruppe IG_LV einen signifikant geringeren Lernzuwachs vom Prä- zum Post-Test als die Gruppe IG_SE mit einem Regressionskoeffizienten von $b = -2.03$ und $p = .037$. Bezüglich der festen Effekte liegt die Varianzaufklärung bei 44 % und bezüglich der festen und zufälligen Effekte gemeinsam bei 78 %.

Hinsichtlich der Nachhaltigkeit des Wissens, wird der Wissenszuwachs vom ersten zum dritten Messzeitpunkt verglichen. Wie in Tabelle 5-19 ersichtlich, erreicht die Referenzgruppe IG_SE einen signifikanten Lernzuwachs zwischen Prä- und

Follow-Up-Test mit einem Regressionskoeffizienten von $b = 5.63$ und $p = <.001$. Dieser Wissenszuwachs unterscheidet sich jedoch nicht mehr signifikant von der Gruppe IG_LV ($b = 0.38$; $p = .747$).

Zur weiteren Analyse wird der Fachwissenstest einem Extremgruppenvergleich unterzogen. Die deskriptive Übersicht der Ergebnisse bezüglich des Extremgruppenvergleichs ist in Tabelle 5-33 dargestellt.

Tabelle 5-33: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Hauptstudie – Mediansplit der Gruppen KG, IG_SE und IG_LV

MZP Gruppe	Prä-Test				Post-Test				Follow-Up-Test			
	N		M (SD)		N		M (SD)		N		M (SD)	
	uM	oM	uM	oM	uM	oM	uM	oM	uM	oM	uM	oM
IG_SE	39	39	3.92 (1.32)	9.22 (2.49)	33	36	11.67 (4.04)	16.88 (3.10)	17	20	10.09 (3.46)	14.45 (3.73)
IG_LV	15	12	4.27 (1.03)	8.33 (1.79)	8	5	9.44 (3.01)	14.40 (5.35)	4	3	11.62 (2.75)	17.50 (3.97)

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideo; uM: unterhalb des Medians; oM: oberhalb des Medians

Eine Gegenüberstellung der Lernzuwächse zwischen Prä- und Post-Test des Extremgruppenvergleichs in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit wird in Abbildung 5-4 dargestellt.

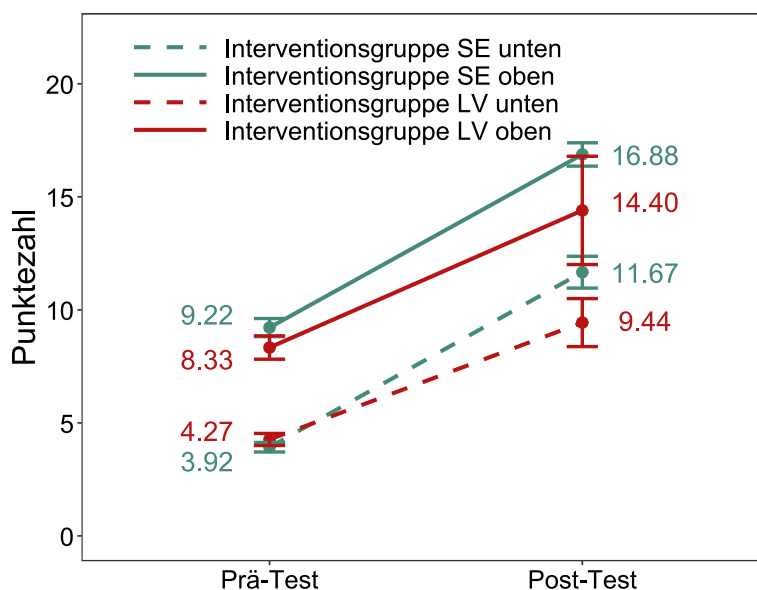


Abbildung 5-4: Vergleich des mittleren Lernzuwachses zwischen Prä- und Post-Test – Extremgruppenvergleich – Hauptstudie (SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen, LV: Interventionsgruppen Lernvideos)

Die Extremgruppen werden mithilfe eines gemischten linearen Regressionsmodells mit der Interventionsgruppe IG_LV verglichen, wobei die IG_LV-Gruppe unterhalb des Medians als Referenz dient. Wie in Tabelle 5-21 dargestellt, erzielten beide Extremgruppen der IG_SE einen signifikant höheren Lernzuwachs im Vergleich zur Referenzgruppe. Für die unterhalb des Medians liegende Gruppe (IG_SE unten) ergibt sich ein Regressionskoeffizient von $b = 2.51$ und $p = .034$, für die oberhalb des Medians liegende Gruppe (IG_SE oben) von $b = 2.37$ und $p = .044$. Wird hingegen die IG_LV-Gruppe oberhalb des Medians als Referenz herangezogen, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs zu den Extremgruppen der IG_SE (Tabelle 5-22).

Zur Untersuchung inwieweit der Art der angebotenen Lernvideos bzw. der Art der selbstgestellten Lernvideos einen Einfluss auf den Lernzuwachs nimmt, werden die vier Interventionsgruppen einzeln miteinander verglichen.

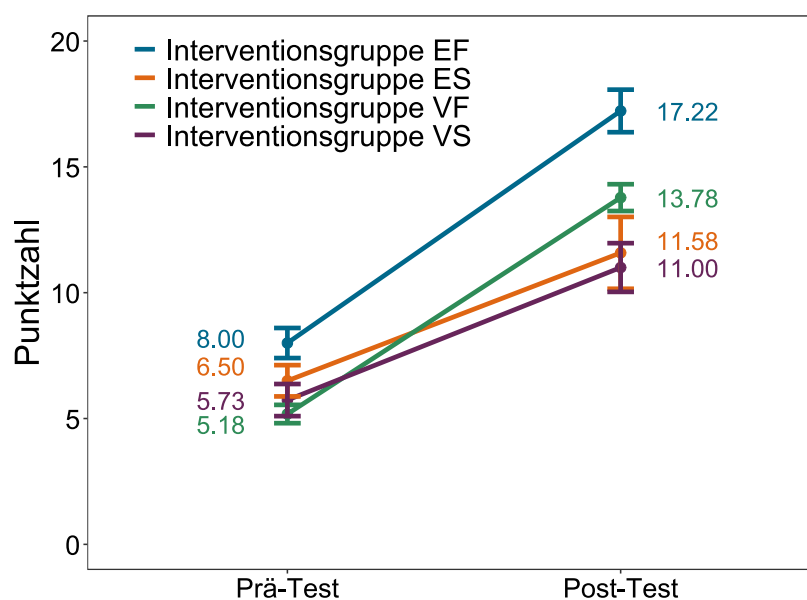


Abbildung 5-5: Vergleich des mittleren Lernzuwachses der Interventionsgruppen zwischen Prä- und Post-Test – Hauptstudie 1 (EF: Erklärvideos fremderstellt, ES: Erklärvideo selbsterstellt, VF: Video-Modeling-Example fremderstellt, VS: Video-Modeling-Example selbsterstellt)

Die Analyse in Bezug auf den Lernzuwachs erfolgte bereits vor Durchführung der Hauptstudie 2. Dies diente der Planung des weiteren Vorgehens der Datenerhebung. Am Prä-Test der Hauptstudie 1 nahmen in der Interventionsgruppe IG_VF

$N = 14$ und an der Interventionsgruppe IG_EF $N = 10$ teil. Die Interventionsgruppe IG_VF erreichte in Hauptstudie 1 im Prä-Test durchschnittlich $M_{VIG_VF} = 5.18$ BE ($SD = 1.50$) und Interventionsgruppe IG_EF erreichte im Durchschnitt $M_{VIG_EF} = 8.00$ BE ($SD = 2.24$). Die Stichprobengröße betrug zum Post-Test sowohl in der Interventionsgruppe IG_VF als auch der IG_EF jeweils $N = 10$. Im Post-Test erreichte die Interventionsgruppe IG_VF $M_{NIG_VF} = 13.78$ BE ($SD = 2.20$) und die Interventionsgruppe IG_EF $M_{NIG_EF} = 17.22$ BE ($SD = 3.16$). Im Rahmen der Voranalyse wurde ein lineares Regressionsmodell gerechnet, um den Lernzuwachs zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt zu analysieren. Aufgrund der geringen Stichprobe zum Follow-Up-Zeitpunkt in den Interventionsgruppen IG_VS ($N = 6$) und IG_ES ($N = 4$) wird auf die differenzierte Analyse des dritten Messzeitpunktes verzichtet. Die Referenzgruppe entsprach erneut der Interventionsgruppe IG_EF. Zwischen der Interventionsgruppe IG_EF und den Gruppen IG_VF ($p = .018$) und IG_VS ($p = .046$) sind signifikante Mittelwertsunterschiede im Fachwissen zum ersten Messzeitpunkt festzustellen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen im Prä- und Post-Test der einzelnen Gruppen der Hauptstudie 1 sind in Abbildung 5-5 ersichtlich.

Die Ergebnisse des gemischten linearen Regressionsmodells sind in Tabelle 5-34 dargestellt. Obwohl zwischen der Referenzgruppe und den Interventionsgruppen IG_VF und IG_VS signifikante Unterschiede im Vorwissen festgestellt werden, wird das Prä-Test-Ergebnis nicht als Kovariate in das Regressionsmodell aufgenommen werden, da dies zu Konvergenzproblemen und Instabilität der Modellschätzungen geführt hätte. Aus diesem Grund erfolgt die Analyse auf Basis unadjustierter Gruppeneffekte.

Lediglich die Interventionsgruppe IG_VF unterscheidet sich nicht signifikant von der Interventionsgruppe IG_EF, der Referenzgruppe, mit $b = -0.62$ und $p = .621$. Im Gegensatz dazu weisen die Interventionsgruppen IG_VS ($b = -3.20$, $p = .017$) und IG_ES ($b = -4.33$, $p = .003$) signifikant geringere Lernzuwächse als die Referenzgruppe auf. Die Studierenden beider Gruppen erstellten Lernvideos im Rahmen der Intervention selbst, während die Referenzgruppe im Anschluss an ein fremderstelltes Erklärvideo schriftliche Erklärungen erstellte.

Tabelle 5-34: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Hauptstudie 1

	b	SE	t	p
Konstante	8.00	0.89	9.01	<.001
MZP	9.10	0.89	10.26	<.001
IG_VF	-2.82	1.16	-2.43	.018
IG_VS	-2.32	1.14	-2.04	.046
IG_ES	-1.50	1.20	-1.25	.217
MZP 2: IG_VF	-0.62	1.24	-0.50	.621
MZP 2: IG_VS	-3.20	1.28	-2.49	.017
MZP 2: IG_ES	-4.33	1.36	-3.18	.003

R^2 marginal = .67; R^2 konditional = .85

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt; IG_VS: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example selbsterstellt; IG_ES: Interventionsgruppe Erklärvideo selbsterstellt

Zur Untersuchung, inwieweit sich die Studierenden der Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES von der Interventionsgruppe IG_VF unterscheiden, in welcher die Studierenden im Anschluss an ein fremderstelltes Video-Modeling-Example die schriftliche Erklärung verfassen, wurde als Referenzgruppe die Interventionsgruppe IG_VF gewählt¹³. Die Ergebnisse zeigen, dass sich zum einen die Interventionsgruppe IG_VS im Lernzuwachs signifikant von der Referenzgruppe IG_VF unterscheidet ($b = -2.58, p = .048$) als auch die Interventionsgruppe IG_ES ($b = -3.72, p = .009$).

Der differenzierte Vergleich der vier Interventionsgruppen der Studie wurde zudem mit der Datenlage der gesamten Hauptstudie durchgeführt. Abbildung 5-6 zeigt dabei den Vergleich des Lernzuwachses der Interventionsgruppen der gesamten Hauptstudie anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt. Die Fachwissensergebnisse der Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES bleiben aufgrund der einmaligen Durchführung identisch zur Abbildung 5-5.

¹³ Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse des multiplen linearen Regressionsmodells hinsichtlich der Forschungsfrage 3 ist in Kapitel 11.611.6 enthalten.

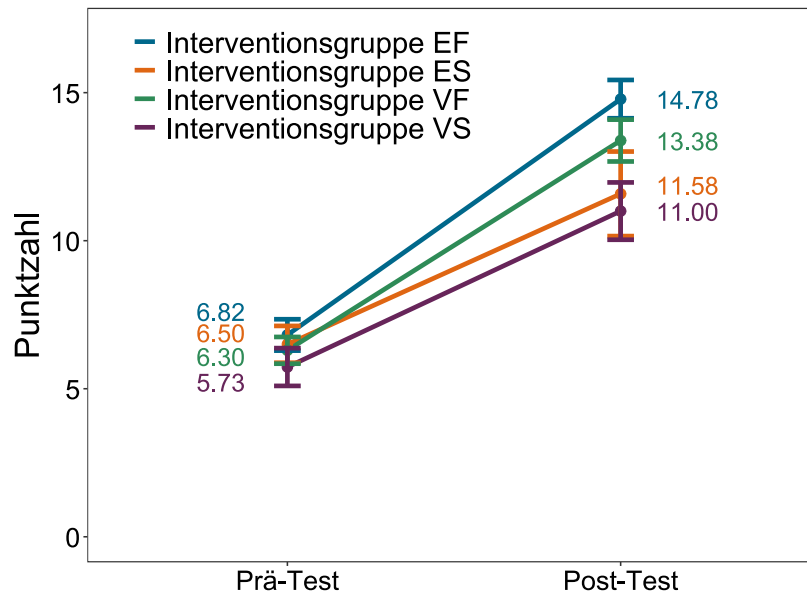


Abbildung 5-6: Vergleich des mittleren Lernzuwachses der Interventionsgruppen zwischen Prä- und Post-Test – Hauptstudie (EF: Erklärvideos fremderstellt, ES: Erklärvideo selbsterstellt, VF: Video-Modeling-Example fremderstellt, VS: Video-Modeling-Example selbsterstellt)

Die Analyse erfolgt anhand eines gemischten linearen Regressionsmodells. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-35 dargestellt.

Tabelle 5-35: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Hauptstudie

	b	SE	t	p
Konstante	6.73	0.59	11.40	<.001
MZP	8.00	0.56	14.36	<.001
IG_VF	-0.61	0.86	-0.71	.478
IG_VS	-1.06	1.14	-0.93	.353
IG_ES	-0.23	1.25	-0.19	.854
MZP 2: IG_VF	-0.85	0.82	-1.05	.299
MZP 2: IG_VS	-2.03	1.32	-1.54	.128
MZP 2: IG_ES	-3.26	1.44	-2.26	.026

R^2 marginal = .49; R^2 konditional = .79

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt; IG_VS: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example selbsterstellt; IG_ES: Interventionsgruppe Erklärvideo selbsterstellt

Die Referenzgruppe entspricht der Interventionsgruppe IG_EF. Die Studierenden dieser Gruppe verfassten schriftliche Erklärungen im Anschluss an die angebotenen Erklärvideos. Die weiteren Interventionsgruppen unterschieden sich nicht signifikant im Vorwissen im Vergleich zur Referenzgruppe. Die Interventionsgruppe IG_EF erreichte mit einem Regressionskoeffizienten $b = 8.00$ einen signifikanten Lernzuwachs vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt mit $p = <.001$. Weder die Interventionsgruppe IG_VF ($b = -0.85$) noch die Gruppe IG_VS ($b = -2.03$) unterschieden sich signifikant im Lernzuwachs zur Interventionsgruppe IG_EF, wengleich jeweils ein geringerer Lernzuwachs zu dieser festzustellen ist. Lediglich die Interventionsgruppe IG_ES erreichte mit $b = -3.26$ und $p = .026$ einen signifikant geringeren Lernzuwachs als die Referenzgruppe.

5.3.2 Einfluss von Kovariablen auf die Entwicklung des Fachwissens

Die Veränderung der Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden wurde durch eine Skala erfasst, welche zu Beginn sowie am Ende des Semesters eingesetzt wurde. Bezüglich der deskriptiven Daten zur Einschätzung der Studierenden aus der Kontrollgruppe und den Interventionsgruppen, die schriftliche Erklärungen oder Lernvideos erstellten, kann festgestellt werden, dass diese im Mitteln in allen Gruppen zwischen Prä- und Post-Zeitpunkt sinkt (Tabelle 5-36).

Tabelle 5-36: Deskriptive Statistik – Selbstwirksamkeitserwartung – Hauptstudie

Messzeitpunkt Gruppe	Prä		Post	
	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>
KG	65	2.93 (0.49)	16	2.74 (0.49)
IG_SE	79	2.98 (0.43)	71	2.81 (0.47)
IG_LV	27	3.03 (0.43)	13	2.81 (0.66)

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Zur Untersuchung, inwieweit sich die Studierenden der Interventionsgruppen im Selbstwirksamkeitserleben signifikant von den Studierenden der Kontrollgruppe unterscheiden, wird ein gemischtes lineares Regressionsmodell eingesetzt. Die Kontrollgruppe dient dabei als Referenzgruppe. Hinsichtlich der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung lässt sich feststellen, dass sich die Interventions-

gruppen nicht signifikant von der Kontrollgruppe unterscheiden. Der Regressionskoeffizienten $b = 0.01$ und $b = -0.07$ zeigen an, dass sich die negative Steigung in der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung zwischen Interventionsgruppen und Kontrollgruppe kaum unterscheiden. Mit $R^2_{\text{marginal}} = 0.04$ konnten zudem lediglich 4 % der Varianz hinsichtlich der festen Effekte aufgeklärt werden. Die Varianzaufklärung liegt bezüglich der festen und zufälligen Effekte bei 62 % (Tabelle 5-37).

Tabelle 5-37: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Selbstwirksamkeitserwartung mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	2.90	0.06	50.73	<.001
MZP 2	-0.19	0.10	-1.94	.054
IG_SE	0.07	0.08	0.89	.376
IG_LV	0.14	0.10	1.35	.178
MZP 2: IG_SE	0.01	0.11	0.13	.898
MZP 2: IG_LV	-0.07	0.15	-0.46	.644

$R^2_{\text{marginal}} = .04$; $R^2_{\text{konditional}} = .62$

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Während die Selbstwirksamkeit der Kontrollgruppe sich nicht signifikant zwischen den beiden Messzeitpunkten unterscheidet ($b = -0.19$; $p = .054$), zeigt sich anhand eines weiteren gemischten Modells mit der Gruppe IG_LV als Referenzgruppe¹⁴, dass diese eine signifikant geringere Selbstwirksamkeitserwartung zum Post-Zeitpunkt verglichen zum Prä-Zeitpunkt hat ($b = -0.26$; $p = .021$).

Zur Untersuchung der demografischen Variablen, beispielsweise des Geburtsjahres oder der Belegung des Faches Chemie in der Oberstufe, wird zunächst die jeweilige Verteilung der beobachteten Häufigkeiten zwischen den Gruppen anhand des χ^2 -Tests überprüft (Tabelle 11-9 ff.). Für keine der betrachteten Variablen ergeben sich signifikante Unterschiede, sodass deren Einfluss auf den Lernzuwachs in den weiteren Analysen nicht berücksichtigt wird.

¹⁴ Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse zum Einfluss der Kovariablen auf die Entwicklung des Fachwissens ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Zur Analyse des Zusammenhangs der Leistungsentwicklung der Studierenden mit weiteren Kovariablen werden die erhobenen Skalen, welche in Kapitel 4.2.3 beschrieben wurden, ausgewertet. Zunächst werden die deskriptiven Daten bezüglich der Skalen in Tabelle 5-38 dargestellt.

Tabelle 5-38: Deskriptive Statistik – Skalen Kovariablen – Hauptstudie

Skala	MZP	N	M (SD)	Min	Max
Selbsteinschätzung	Prä	171	2.85 (0.37)	1.69	3.77
Allgemeine Mediennutzung	Prä	77	2.09 (0.56)	1.00	3.88
Lernbezogene Mediennutzung	Prä	77	2.64 (0.55)	1.29	4.07
Studienzufriedenheit	Post	99	2.85 (0.36)	2.00	3.56
Aktuelle Motivation	Post	100	3.69 (0.61)	2.00	5.07
Selbstwirksamkeitserwartung	Prä	171	2.97 (0.45)	1.83	4.00
	Post	100	2.80 (0.50)	1.17	4.00
SI – Redoxchemie	-	76	3.25 (0.39)	1.78	4.00
SI – VSEPR-Theorie	-	66	3.32 (0.38)	2.44	3.89
SI – Säure-Base-Chemie	-	61	3.25 (0.40)	2.22	3.89

Anmerkung: MZP: Messzeitpunkt; SI: Skala zum situationalen Interesse

Die Korrelationsanalyse nach Pearson mit den Lernzuwächsen zeigt höchstens schwache Korrelationen mit den Kovariablen der Skalen Selbsteinschätzung, lernbezogene Mediennutzung, Studienzufriedenheit, Selbstwirksamkeitserwartung sowie situationales Interesse. Diese sind in keinem Fall signifikant.

Aufgrund fehlender Normalverteilung¹⁵ der gesamten Stichprobe hinsichtlich der Skalen allgemeine Mediennutzung sowie aktuelle Motivation wird der non-parametrische Korrelationskoeffizient nach Spearman berechnet. Nur in Bezug auf die aktuelle Motivation zeigt sich eine moderate positive Korrelation mit dem Lernzuwachs, $r_s = 0.36$, $p = <.001$.

¹⁵ Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse der Normalverteilung ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Tabelle 5-39: Korrelation der Skalen mit residualen Lernzuwächsen – Hauptstudie

Skala	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>r_S</i>	<i>p</i>
Selbsteinschätzung	99	-0.02	-	.864
Allgemeine Mediennutzung	54	-	0.01	.936
Lernbezogene Mediennutzung	54	-0.26	-	.059
Studienzufriedenheit	90	0.16	-	.130
Aktuelle Motivation	91	-	0.36	<.001
Selbstwirksamkeitserwartung	91	0.20	-	.061
SI – Redoxchemie	59	-0.10	-	.437
SI – VSEPR-Theorie	49	-0.12	-	.427
SI – Säure-Base-Chemie	48	-0.10	-	.484

Die Kovariable aktuelle Motivation wird in Bezug auf die Interventionen Erstellung schriftlicher Erklärungen sowie Lernvideos näher untersucht. Verglichen werden diese mit den Studierenden der Kontrollgruppe.

Tabelle 5-40: Deskriptive Statistik – Aktuelle Motivation – Hauptstudie

Gruppe	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
KG	16	3.58 (0.65)	2.00	4.50
IG_SE	71	3.71 (0.59)	2.43	5.07
IG_LV	13	3.76 (0.66)	2.43	4.71

Anmerkungen: KG: Kontrollgruppe; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Die deskriptive Übersicht der Skala zur aktuellen Motivation zeigt eine unbalancierte Stichprobenverteilung zugunsten der Interventionsgruppe, welche schriftliche Erklärungen verfasste ($N = 71$). Die Studierenden, welche im Rahmen der Intervention Lernvideos erstellen, haben im Mittel eine höhere aktuelle Motivation mit $M = 3.76$ ($SD = 0.66$). Dagegen hat die Kontrollgruppe mit $M = 3.58$ ($SD = 0.65$) die geringste aktuelle Motivation (Tabelle 5-40).

Zur Untersuchung des Einflusses der Kovariable der aktuellen Motivation in Bezug auf den Lernzuwachs der Interventionsgruppen, die schriftliche Erklärungen erstellten, im Vergleich zur Kontrollgruppe und der Interventionsgruppen, welche

Lernvideos erstellt, wird ein multiples lineares Regressionsmodell gerechnet (Tabelle 5-41).

Tabelle 5-41: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen unter Berücksichtigung der Kovariable aktuelle Motivation mit der Interventionsgruppe IG_SE als Referenzgruppe – Hauptstudie

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	-2.26	2.15	-1.05	.295
FAM	2.42	0.57	4.27	<.001
MZP 2	7.47	0.42	17.88	<.001
KG	-0.96	1.04	-0.92	.361
IG_LV	-1.09	1.16	-0.94	.348
MZP 2: IG_KG	-0.55	1.01	-0.55	.584
MZP 2: IG_LV	-2.12	1.08	-1.96	.053

R^2 marginal = .52; R^2 konditional = .80

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos; FAM: Fragebogen zur aktuellen Motivation

Es wird dabei der Lernzuwachs der Studierenden zwischen dem Prä- und Post-Test untersucht. Es zeigt sich, dass der zuvor bestehende Unterschied im Lernzuwachs zwischen den Gruppen IG_SE und IG_LV unter Berücksichtigung der aktuellen Motivation knapp nicht signifikant wird ($b = -2.12$; $p = .053$). Weiterhin zeigt sich kein signifikanter Unterschied im Lernzuwachs zwischen der Gruppe IG_SE und der Kontrollgruppe ($b = -0.55$; $p = .584$).

5.3.3 Ergebnisse zur Förderung und Erfassung der Erklärkompetenz

Zur Erfassung der Erklärkompetenz der Studierenden werden die schriftlichen Erklärungen, welche im Rahmen der Intervention generiert wurden, mithilfe eines Kodiermanuals (Kapitel 11.3.3) bewertet. Die dabei ermittelten Gesamt-Scores der einzelnen Themenbereiche sowie der Gesamt-Score der Themenbereiche zusammen werden jeweils deskriptiv analysiert (Tabelle 5-42). Dabei ist feststellbar, dass die Erklärkompetenz zur Säure-Base-Chemie mit $M = 0.58$ am geringsten ausgeprägt ist. Die Themenbereiche VSEPR-Theorie und Redoxchemie erreichen mit $M = 0.69$ den gleichen mittleren Gesamt-Score.

Tabelle 5-42: Deskriptive Statistik – Scores Kodiermanual – Hauptstudie

Gesamt-Score	<i>N</i>	<i>M (SD)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Gesamt	84	1.96 (0.35)	1.15	2.66
Säure-Base-Chemie	84	0.58 (0.14)	0.31	0.92
VSEPR-Theorie	84	0.69 (0.12)	0.40	0.92
Redoxchemie	84	0.69 (0.14)	0.32	0.94

Eine differenziertere Analyse einzelner Subkategorien der Erklärkompetenz zeigt, dass die geringsten mittleren Scores in allen drei Themenbereichen in den Subkategorien „Ziel“, „Zusammenfassung“ und „Elaboration“ erreicht wurden. Im Themenbereich der Säure-Base-Chemie wurde daneben auch ein geringerer mittlerer Score in der Subkategorie *Fachbegriffe Breite* erreicht (Abbildung 5-7 ff.).

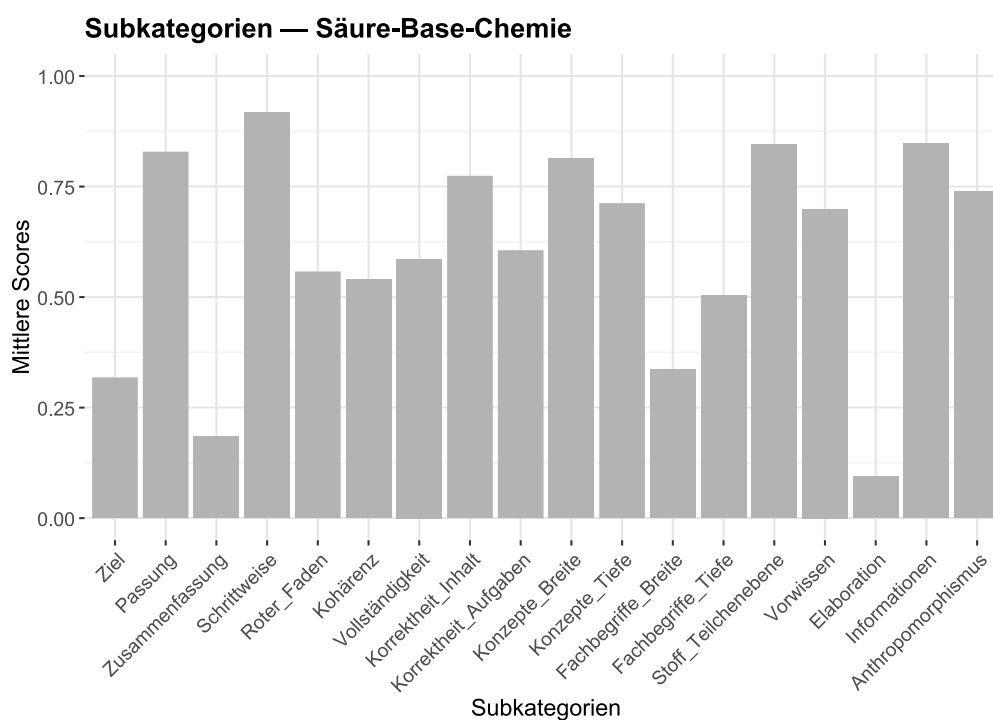


Abbildung 5-7: Analyse der mittleren Scores der Subkategorien – Themenbereich Säure-Base-Chemie

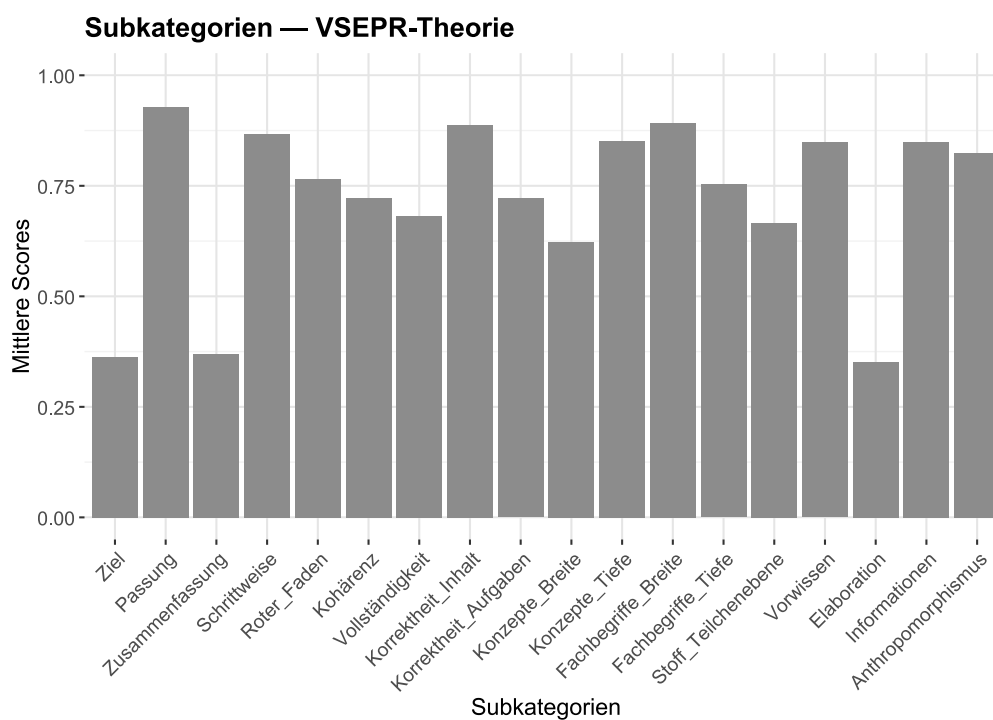


Abbildung 5-8: Analyse der mittleren Scores der Subkategorien – Themenbereich VSEPR-Theorie

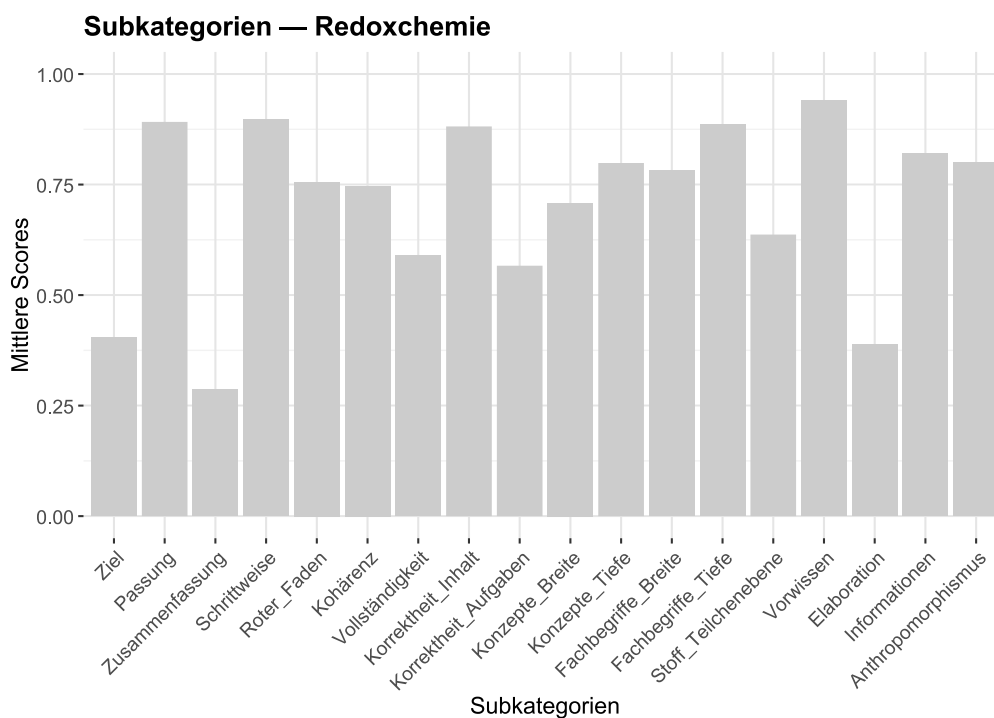


Abbildung 5-9: Analyse der mittleren Scores der Subkategorien – Themenbereich Redoxchemie

Ein t-Test für unabhängige Stichproben dient der Überprüfung, ob signifikante Unterschiede im Gesamt-Score zwischen den Interventionsgruppen, welche die schriftlichen Erklärungen verfassten, vorhanden sind. Die Stichprobengröße beträgt in beiden Gruppen $N = 18$. Die Interventionsgruppe, welche eine schriftliche Erklärung im Anschluss an ein Video-Modeling-Example erstellte, erreicht im Mittel einen Gesamt-Score von $M = 1.90$ ($SD = 0.37$). Die Interventionsgruppe, die im Rahmen ihres Lernprozesses Erklärvideos erhielt, erreicht mit einem mittleren Gesamt-Score von $M = 2.08$ ($SD = 0.31$) eine höhere Bewertung. Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigt jedoch, dass sich die mittleren Scores in den Gruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden ($t(34) = 0.79$; $p = .120$).

Tabelle 5-43: t-Test für unabhängige Stichproben – Gesamt-Score Kodiermanual

Score	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Gesamt	0.79	34	.120	.53

Zur Untersuchung, inwieweit signifikante Unterschiede hinsichtlich der Erklärkompetenz in den Themenbereichen vorliegen, wird ein lineares Regressionsmodell verwendet (Tabelle 5-44). Der mittlere Gesamt-Score des Themenbereichs Säure-Base-Chemie dient dabei als Referenzgruppe. Der Regressionskoeffizient $b = 0.12$ zeigt an, dass eine Steigerung hinsichtlich des mittleren Gesamt-Scores des Themenbereichs VSEPR-Theorie und $b = 0.11$ hinsichtlich des Themenbereichs Redoxchemie feststellbar ist. Beide Steigungen sind mit $p = <.001$ signifikant, sodass die erfasste Erklärkompetenz der Studierenden im Bereich Säure-Base-Chemie signifikant schlechter als in den beiden weiteren Bereichen ist.

Tabelle 5-44: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Gesamt-Score mit dem Themenbereich Säure-Base-Chemie als Referenzgruppe – Hauptstudie

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	0.58	0.01	39.01	<.001
VSEPR-Theorie	0.12	0.01	8.78	<.001
Redoxchemie	0.11	0.01	8.10	<.001

R^2 marginal = .13; R^2 konditional = .65

Die Wahl des Gesamt-Scores der VSEPR-Theorie als Referenzgruppe, zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Gesamt-Scores der VSEPR-Theorie und Redoxchemie vorhanden sind (Tabelle 5-45).

Tabelle 5-45: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Gesamt-Score mit dem Themenbereich VSEPR-Theorie als Referenzgruppe – Hauptstudie

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	0.69	0.01	46.86	<.001
Säure-Base-Chemie	-0.12	0.01	-8.78	<.001
Redoxchemie	-0.01	0.01	-0.68	.498

R^2 marginal = .13; R^2 konditional = .65

Zur Untersuchung des Einflusses der Erklärkompetenz auf den Lernzuwachs wird folgende Forschungsfrage beantwortet:

FF 4: *Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Erklärkompetenz der Studierenden und ihrem Lernzuwachs im Fachwissen?*

Um zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen der Erklärkompetenz und dem Fachwissenszuwachs besteht, wird die Korrelation zwischen den beiden metrischen Variablen berechnet. Als Maß für den Fachwissenszuwachs wird der residuale Lernzuwachs zwischen Prä- und Post-Test herangezogen. Aufgrund normalverteilter Daten¹⁶ wird zur Berechnung der Korrelation der Pearson-Korrelationskoeffizient verwendet. Die Analyse zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Erklärkompetenz und dem Lernzuwachs im Fachwissen, $r = 0.12$ und $p = .313$.

Zur Überprüfung, ob die Erklärkompetenz zur Vorhersage des Post-Test-Ergebnisses und somit dem Wissensstand dient, wird der Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem Gesamt-Score und dem Post-Test-Ergebnis berechnet. Mit $r = 0.14$ und $p = .252$ zeigt sich, dass Score und Post-Test-Ergebnis nicht korrelieren. Somit dient die Erklärkompetenz nicht zur Vorhersage des Wissensstandes der Studierenden.

Im Rahmen der Subanalyse werden Extremgruppen anhand eines Mediansplits gebildet. Es zeigt sich, dass die Erklärkompetenz bei den Studierenden mit höherem Vorwissen positiv mit dem Ergebnis des Post-Tests korreliert mit $r = 0.34$ und $p = .026$. Zudem ist eine signifikante Korrelation zwischen dem Prä-Test und der Erklärkompetenz zu verzeichnen ($r = 0.46$; $p = .002$). Diese Tendenz ist bei den Studierenden mit geringem Vorwissen nicht erkennbar.

Um den spezifischen Einfluss des Vorwissens auf die Erklärkompetenz zu untersuchen und die Effekte von Prä-Test und Post-Test zu berücksichtigen, werden lineare Regressionen durchgeführt. Vor der Analyse werden die Variablen Prä-Test, Post-Test und Gesamt-Score z-standardisiert, um die Regressionskoeffizienten vergleichbar zu machen. Die Ergebnisse der Regression zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Prä-Test-Ergebnis von Studierenden mit hohem Vorwissen und deren Erklärkompetenz (Tabelle 5-46). Dagegen zeigen weder das Post-Test-Ergebnis noch der Lernzuwachs einen signifikanten Zusammenhang mit der Erklärkompetenz.

¹⁶ Die detaillierte Darstellung der Ergebnisse der Normalverteilung ist in Kapitel 11.6 enthalten.

Tabelle 5-46: LM – Untersuchung der Wirkung/Einfluss UV Prä-Test auf die AV Erklärkompetenz

	b	SE	t	p
Konstante	0.85	0.11	7.76	<.001
Gesamt-Score	0.32	0.11	3.05	.004

$R^2 = .22$

FF 5: *Ist das entwickelte Kodiermanual geeignet, die Erklärkompetenz der Studierenden objektiv, reliabel und valide zu erfassen?*

Zur Überprüfung, ob das entwickelte Kodiermanual die Erklärkompetenz der Studierenden objektiv erfassen kann, wurden im Rahmen der Inter-Koder-Reliabilitätsanalyse 36 Ausarbeitungen vierfach kodiert. Die ordinal skalierten Daten werden anhand des Krippendorffs Alpha-Koeffizienten und der prozentualen Übereinstimmung analysiert. Die prozentuale Übereinstimmung zwischen den vier Kodierinnen zeigt mit 73.9 % eine hohe Übereinstimmung. Auch der Krippendorffs Alpha-Koeffizient mit $\alpha = .79$ zeigt hohe Übereinstimmung (Tabelle 5-47).

Tabelle 5-47: Inter-Koder-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Gesamtskala der Reliabilitätsanalyse II

Anzahl Rater	Krippendorffs Alpha	Prozentuale Übereinstimmung (beobachtet)	Prozentuale Übereinstimmung (erwartet)
4	.794	73.9 %	28.6 %

Nach der Überprüfung der Reliabilität anhand dieser 36 Ausarbeitungen wurde das Kodiermanual final eingesetzt, um die restlichen 144 Ausarbeitungen zu kodieren. Zur erneuten Bestimmung der Inter-Koder-Reliabilität¹⁷ wurden aus diesen 144 Ausarbeitungen 45 schriftliche Erklärungen doppelt kodiert, was über 31 % der verbleibenden Daten entspricht. Zur Überprüfung der Validität des Kodiermanuals hat die Autorin des Kodiermanuals die 45 Ausarbeitungen selbst kodiert. Die Doppelkodierung teilte sich indes auf die drei weiteren Kodierinnen auf.

¹⁷ Für eine detaillierte Darstellung der vollständigen Analyse der Inter-Koder-Reliabilität hinsichtlich der Subkategorien sei auf Kapitel 11.6 verwiesen.

Es zeigt sich, dass die Übereinstimmung weiterhin mit 67.9 % und einem Krippendorffs Alpha-Koeffizienten von $\alpha = .746$ als hoch anzunehmen ist (Tabelle 5-48).

Tabelle 5-48: Inter-Koder-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Gesamtskala der Reliabilitätsanalyse III

Anzahl Rater	Krippendorffs Alpha	Prozentuale Übereinstimmung (beobachtet)	Prozentuale Übereinstimmung (erwartet)
2	.746	67.9 %	27.8 %

Um die Reliabilität des Kodiermanuals mit den finalen Werten zu bestimmen, wurde die interne Konsistenz anhand des Cronbachs Alpha-Koeffizienten berechnet. Es wurden dafür die finalen Scores der 18 Kategorien von 84 Datensätzen verwendet. Die interne Konsistenz liegt mit $\alpha = .68$ in einem akzeptablen Bereich. In der Oberkategorie „*Strukturiertheit*“ weist die Kategorie „*Schrittweiser Aufbau*“ eine geringe Trennschärfe von unter 0.1 auf. In der Oberkategorie „*Fachliche Aspekte*“ zeigt die Kategorie „*Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt*“ ebenfalls eine geringe Trennschärfe auf. Hinsichtlich der Oberkategorie „*Adressatenorientierung*“ weisen die Kategorien „*Beschränkung auf wesentliche Informationen*“ und „*Anthropomorphe und teleologische Formulierungen*“ sogar negative Trennschärfen auf. Die Entfernung der beiden Items würde zur Verbesserung der internen Konsistenz mit $\alpha = .73$ führen. Aufgrund der Gewährleistung der inhaltlichen Validität des Konstrukts *Adressatenorientierung*, werden die Items dennoch für die weiteren Analysen beibehalten (Früh, 2017).

Korrelationsanalysen zwischen den Gesamt-Scores der einzelnen Themenbereiche dienen der Überprüfung der Konstruktvalidität. Die Pearson-Produkt-Moment-Korrelationsanalyse zeigt, dass die Themenbereiche untereinander stark positiv korrelieren (Tabelle 5-49).

Tabelle 5-49: Pearson-Produkt-Moment-Korrelationsanalysen zwischen den Gesamt-Scores der Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie

Skala	<i>N</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
VSEPR-Theorie – Säure-Base-Chemie	84	0.62	<.001
VSEPR-Theorie – Redoxchemie	84	0.67	<.001
Säure-Base-Chemie – Redoxchemie	84	0.53	<.001

6 Diskussion

Die zentralen Ergebnisse der Hauptstudie hinsichtlich des Fachwissens (Kapitel 6.1.1) und der Erklärkompetenz (Kapitel 6.1.2) der Studierenden werden im folgenden Kapitel abschließend zu den der Studie leitenden Forschungsfragen in Beziehung gesetzt und unter Berücksichtigung der zuvor aufgestellten Hypothesen diskutiert. Beendet wird das Kapitel mit einer Diskussion der forschungsmethodischen Aspekte und dem Aufzeigen der Limitationen der Studie (Kapitel 6.2).

6.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

6.1.1 Förderung und Erfassung von Fachwissen

Untersuchung der Lernwirksamkeit durch das Generieren von Erklärungen

Eines der grundlegenden Ziele der vorliegenden Arbeit bestand in der Förderung des Fachwissens der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den Themenbereichen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie. Der dabei untersuchte Ansatz war das eigenständige Generieren von Erklärungen, entweder in Form von Lernvideos oder in Form schriftlicher Erklärungen im Anschluss an ein instruktives Lernvideo. Beide Methoden wurden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit mit der Bearbeitung von Übungsaufgaben ohne eigenständiges Erklären verglichen (Forschungsfragen 1 und 2.1). Zudem wurde die Effektivität der beiden Erklärungsformate direkt miteinander verglichen (Forschungsfrage 3). Da zur Untersuchung der Wirksamkeit des Generierens von Erklärungen im Rahmen der Forschungsfragen 1, 2.1 sowie 3 die gleichen Gruppen herangezogen wurden, werden die Ergebnisse dieser Analysen im Folgenden gemeinsam diskutiert.

Die Analyse der Ergebnisse der Hauptstudie zeigt, dass das Generieren von Erklärungen in audiovisueller ebenso wie in schriftlicher Form im Vergleich zur Bearbeitung von Übungsaufgaben ohne zusätzliche Lernvideos keinen signifikant höheren Lernzuwachs zwischen Prä- und Post-Test bewirkt. Zwischen Prä- und Follow-Up-Test erzielen die Studierenden beider Interventionsgruppen jedoch einen signifikant höheren Wissenserwerb als die Kontrollgruppe, die ausschließlich Übungsaufgaben bearbeitet hat. Dies deutet auf einen nachhaltigeren Wissenserwerb durch das eigenständige Generieren von Erklärungen hin. Die konkrete Form

der Erklärung (schriftlich oder audiovisuell) erweist sich dabei im Vergleich zur Bearbeitung von Übungsaufgaben als nicht ausschlaggebend.

In Bezug auf kurzfristigen Lernerfolg können Hypothese 1 (*Das Selbsterstellen von Lernvideos führt in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben.*) und Hypothese 2.1 (*Das Erstellen von schriftlichen Erklärungen im Anschluss an ein Lernvideo führt in der Übungsphase zu den Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie zu einem gesteigerten Lernzuwachs der Studierenden im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche Übungsblätter ohne Lernvideos bearbeitet haben.*) nicht bestätigt werden. Hinsichtlich des langfristigen Lernerfolgs zeigt sich jedoch die Effektivität des Generierens sowohl videografischer als auch schriftlicher Erklärungen. Der Befund, dass das eigenständige Generieren von Erklärungen im Vergleich zur Kontrollgruppe nachhaltigeres Wissen fördert, entspricht dem sogenannten Generierungseffekt (Renkl, 2001; Wörn, 2014).

Die Ergebnisse bestätigen somit die Annahme von Fiorella und Mayer (2013), dass das Generieren von Erklärungen im Lernprozess in einer tiefen kognitiven Verarbeitung der Informationen resultiert. Die Ergebnisse von Hausmann und VanLehn (2007), die sowohl kurz- als auch langfristige Lernerfolge durch das Generieren von Erklärungen zeigen konnten, können im Rahmen der Forschungsfragen 1 sowie 2.1 nur teilweise bestätigt werden. Dagegen decken sich die Befunde mit den Ergebnissen von Hoogerheide et al. (2014b) sowie Zhu et al. (2024), die in ihren Studien gezeigt haben, dass das Erklären im Vergleich zum Lernen durch Wiederholen signifikante Effekte auf den langfristigen Lernerfolg erzielt. Allerdings konnten diese Effekte in einer weiteren Studie von Hoogerheide et al. (2016) nicht repliziert werden. Hinsichtlich schriftlicher Erklärungen fanden Hoogerheide et al. (2016) zudem entgegen der Ergebnisse zur Forschungsfrage 2.1 heraus, dass das schriftliche Erklären weniger effektiv ist als die reine Wiederholung von Inhalten. Dies traf sowohl auf kurzfristigen als auch auf langfristigen Wissenserwerb zu. Ryan und Koppenhofer (2024) hingegen beziehen die Effektivität des Generierens schriftlicher Erklärungen ausschließlich auf den kurzfristigen Lernerfolg, nicht jedoch auf den langfristigen. Novak und Treagust (2022) zeigen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, dass das Formulieren naturwissenschaftlicher Erklärungen ein tiefes Verständnis der Konzepte fördert und deren Anwendung auf neue Problemsituationen erleichtert. Das Generieren der Erklärungen trägt folglich zur Verknüpfung von Fachwissen bei.

Die themenspezifische Analyse des Fachwissens der Studierenden verdeutlicht einen vergleichbaren Trend im Hinblick auf das Erstellen videografischer und schriftlicher Erklärungen. Sowohl im Bereich der VSEPR-Theorie als auch der Säure-Base-Chemie zeigt sich, dass beide Interventionen zu einem signifikant größeren Lernzuwachs zwischen Prä- und Follow-Up-Test führen, verglichen zur Kontrollgruppe. Im Themengebiet der Redoxchemie hingegen zeigt sich kein Unterschied im Lernzuwachs zwischen den Interventionsgruppen und der Kontrollgruppe, was auf eine Themenabhängigkeit des Treatments hindeutet.

Im Rahmen der vergleichenden Analyse zwischen der Erstellung schriftlicher und videografischer Erklärungen wurde die explorative Forschungsfrage 3 untersucht. Es lässt sich feststellen, dass das Erstellen einer schriftlichen Erklärung eine signifikant höhere Wirkung hinsichtlich des kurzfristigen Wissenserwerbs erzielt als das Erstellen eines Lernvideos. Bezüglich der Nachhaltigkeit des Wissens unterscheiden sich beide Gruppen nicht signifikant voneinander. Die Ergebnisse von Hoogerheide et al. (2016), wonach es keine signifikanten Unterschiede zwischen dem schriftlichen und videografischen Erklären hinsichtlich des Lernerfolges gibt, können in dieser Studie nicht bestätigt werden. Der Befund kann mit der Cognitive Load Theory nach Chandler und Sweller (1991) begründet werden. Die Aneignung von Schemata wird durch die Beanspruchung kognitiver Kapazitäten im Prozess des Erstellens eines Lernvideos erschwert. Die Lernaktivität im Erstellen eines Videos trägt zu einem großen Anteil zur extrinsischen Belastung bei. Diese wird dahingegen durch das Bereitstellen instruktionaler Lernvideos für die Lernenden reduziert. Die Studierenden, welche im Rahmen der Interventionen schriftliche Erklärungen generierten, konnten somit ihre kognitiven Kapazitäten auf das Erlernen von Schemata und ihrer Automatisierung richten. Die zum Erstellen von Videos benötigten technischen Fähigkeiten stellen zusätzlich Elemente dar, welche nicht lernrelevant sind. Vielmehr beanspruchen sie weitere kognitive Kapazitäten der Lernenden (Paas et al., 2003). Die mentale Überlastung durch das Erstellen der Videos erschwert somit den kurzfristigen Wissenserwerb. Dennoch zeigt sich, dass das selbstständige Erstellen der Lernvideos zu einem nachhaltigem Lernerfolg beitragen kann.

Die Annahme der Cognitive Load Theorie wird durch die Analyse der Extremgruppen gestützt. Die Ergebnisse zeigen, dass Studierende mit geringem Vorwissen, die Lernvideos selbst erstellt haben, einen signifikant geringeren Lernzuwachs erzielen als Studierende unterhalb sowie oberhalb des Medians der Interventionsgruppe, die Lernvideos erhalten hat. Bei den Studierenden oberhalb des Medians

der Gruppe, die Lernvideos selbst erstellt haben, zeigen sich hingegen keine derartigen Unterschiede. Die Ergebnisse der Studie nach Lachner et al. (2020), nach welcher Lernen durch selbstständiges Erklären nicht für Lernende mit geringem Vorwissen effektiv ist, konnte hierbei nur teilweise bestätigt werden. Der lernhinderlichen Wirkung durch geringes Vorwissen wird in der Interventionsgruppe durch das Bereitstellen von Lernvideos mit instruktionalen Inhalten entgegengewirkt. Diese Lernenden erzielten einen signifikant höheren Lernzuwachs als diejenigen, die Lernvideos selbst erstellen mussten.

Die signifikanten Unterschiede im Lernerfolg zwischen den Lernmethoden bei Lernenden mit geringem Vorwissen deuten darauf hin, dass das Erstellen von Lernvideos für Novizen das Erlernen und die Ausbildung von Schemata erschwert. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Gorbunova et al. (2025), die zeigen, dass Lernenden mit hohem Vorwissen mehr verfügbare kognitive Kapazitäten besitzen, um Schemata zu generieren oder bereits vorhandene Schemata weiter zu verfeinern. Die Tatsache, dass sich Lernende mit hohem Vorwissen im Lernzuwachs nicht signifikant von der Interventionsgruppe unterscheiden, die schriftliche Erklärungen erstellte, stützt die Annahme von Kulgemeyer et al. (2023a), dass das Selbsterstellen von Erklärvideos insbesondere für diese Zielgruppe eine effektive Methode zum Wissenserwerb darstellt.

Einfluss der Art des Lernvideos auf die Lernwirksamkeit

Neben der Untersuchung der Wirksamkeit des Generierens einer videografischen Erklärung und einer schriftlichen Erklärung im Anschluss an ein Lernvideo wurden in den Forschungsfragen 2.2 und 3 auch der Einfluss der Art des Lernvideos analysiert. Dabei erfolgte eine Differenzierung zwischen überwiegend instruktionalen Erklärvideos und überwiegend beispielbasierten Video-Modeling-Examples.

Um zu untersuchen, inwieweit die Art des angebotenen Lernvideos zur Erstellung der schriftlichen Erklärung den Wissenserwerb beeinflusst, wurde die Forschungsfrage 2.2 explorativ analysiert, sodass keine Hypothese formuliert wurde. In Bezug auf den Wissenszuwachs zwischen Prä- und Post-Test zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Zwischen Prä- und Follow-Up-Test erzielt sowohl die Interventionsgruppe, die Erklärvideos erhalten hat als auch die Interventionsgruppe, die Video-Modeling-Examples nutzen konnte, einen signifikant höheren Lernzuwachs als die Kontrollgruppe. Die beiden Interventionsgruppen unterscheiden sich hingegen nicht signifikant voneinander. Mit einer Varianzaufklärung von 45 % hinsichtlich der festen Effekte lässt sich jedoch ableiten, dass

die Gruppenzugehörigkeit einen substanziellen Beitrag zum langfristigen Lernzuwachs leistet. Die fehlende Signifikanz im Unterschied zwischen den Interventionsgruppen lässt annehmen, dass die Art des angebotenen Lernvideos als instruktionale Hilfestellung zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung nicht entscheidend für den Wissenserwerb ist. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die aktive Generierung im Anschluss eines Video-Modeling-Examples oder eines Erklärvideos zur Ausbildung stabiler Problemlöseschemata beiträgt und somit nachhaltiges Lernen unterstützt (Kaiser & Mayer, 2019).

Die detaillierte Analyse zeigt jedoch Unterschiede hinsichtlich der thematischen Unterteilung. So erreichen bezüglich der VSEPR-Theorie beide Interventionsgruppen einen signifikant höheren Lernzuwachs als die Kontrollgruppe zwischen Prä- und Follow-Up-Test. Im Bereich der Säure-Base-Chemie erreicht nur die Interventionsgruppe mit Erklärvideos einen signifikant höheren Lernzuwachs als die Kontrollgruppe im Verlauf des ersten zum dritten Messzeitpunkt. Lediglich im Themengebiet der Redoxchemie zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen Prä- und Post-Test. Im Vergleich zur Kontrollgruppe und zur Interventionsgruppe mit Video-Modeling-Examples zeigte die Gruppe mit Erklärvideos den größten Lernzuwachs. Die Ergebnisse legen nahe, dass das Lernen mit Erklärvideos in allen Themenbereichen in Bezug auf den Lernzuwachs effektiver ist. Eine mögliche Begründung des höheren Lernerfolgs durch Erklärvideos im Vergleich zu den Video-Modeling-Examples liefern Chi et al. (1989) durch die Folgerung, dass das Verstehen und Verallgemeinern von Beispielen nur durch vollständiges Verständnis des Themengebiets möglich ist. Da die Studierenden im ersten Semester noch Novizen in den Themenbereichen sind, kann das Lernen durch Lösungsbeispiele zu einem unvollständigen Verständnis führen. Die instruktionalen Erklärungen scheinen für Novizen hier wirksamer zu sein als die Video-Modeling-Examples. Der unterschiedlich hohe Lernerfolg in den drei genannten Themenbereichen in Abhängigkeit des Treatments bietet eine mögliche Erklärung für die fehlenden Effekte in der thematischen Analyse hinsichtlich der Forschungsfragen 1 und 2.1. Die Ergebnisse zeigen, dass instruktionale Erklärvideos insbesondere bei den Themen VSEPR-Theorie und Säure-Base-Chemie zu signifikant höheren Lernzuwachsen führen als in der Kontrollgruppe, während Video-Modeling-Examples nur in einem begrenzten Umfang wirksam sind. Die Varianzaufklärung von 73 % bei der Säure-Base-Chemie und 42 % bei der VSEPR-Theorie, deuten darauf hin, dass die Art der Lernunterstützung einen starken Einfluss auf den Wissenszuwachs hat, während nur 17 % Varianzaufklärung bei der Redoxchemie zeigen, dass weitere Faktoren den Lernerfolg beeinflussen.

Durch den Vergleich des Lernzuwachses der Lehramtsstudierenden mit den B.Sc. Bio-/Chemie-Studierenden, lässt sich feststellen, dass die Bio-/Chemie-Studierenden sowohl zwischen Prä- und Post-Test als auch zwischen Prä- und Follow-Up-Test signifikant besser sind als die Chemie-Lehramtsstudierenden der Kontrollgruppe. Jedoch können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lehramtsstudierenden der Interventionsgruppen und den Bio-/Chemie-Studierenden festgestellt werden. Dies zeigt, dass das Generieren von schriftlichen Erklärungen zum Abbau signifikanter Unterschiede zwischen Lehramtsstudierenden und Bio-/Chemie-Studierenden führen kann.

Im Rahmen der Forschungsfrage 3 wurde das Erstellen von Lernvideos im Vergleich zum Erstellen schriftlicher Erklärungen hinsichtlich der Art der Videos untersucht. Ob die Art des dabei erstellten Lernvideos einen Einfluss auf das Lernen hat, wurde durch Analyse der einzelnen Interventionsgruppen untersucht. Dies erfolgte zunächst anhand der Datenlage der Hauptstudie 1. Aufgrund der geringeren Stichprobengröße zum Follow-Up-Zeitpunkt war lediglich die Untersuchung des Lernzuwachses zwischen Prä- und Post-Test möglich. Es zeigt sich, dass das Erstellen von Lernvideos unabhängig von ihrer Gestaltungsart zu einem signifikant geringerem Lernzuwachs führt, verglichen zu den beiden Interventionsgruppen, welche fertige Lernvideos erhielten. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde vor Durchführung der Hauptstudie 2 entschieden, die Interventionsgruppen, welche Lernvideos erstellt haben, nicht weiter fortzuführen.

Für die Analyse der gesamten Stichprobe aus Hauptstudie 1 und 2 werden die Daten dieser Gruppen jedoch erneut berücksichtigt, um die Lernzuwächse im Vergleich zu den anderen Interventionsgruppen zu evaluieren. Die Analyse zeigt, dass lediglich die Interventionsgruppe, in welcher die Studierenden Erklärvideos erhielten, einen signifikant höheren Lernzuwachs erzielt als die Interventionsgruppe, die Erklärvideos selbst erstellten. Die Interventionsgruppe, in der die Studierenden Video-Modeling-Examples erhielten, konnte keinen signifikant höheren Lernzuwachs erreichen als die Studierenden der Gruppen, die Lernvideos erstellten. Dies deutet darauf hin, dass das Lernen mit Erklärvideos zu einem größeren Lernerfolg führt als das Lernen durch Lösungsbeispiele.

6.1.2 Förderung und Erfassung von Erklärkompetenz

Einfluss der Erklärkompetenz auf den Lernzuwachs

Ein weiteres Ziel der Arbeit lag in der Förderung und Erfassung der Erklärkompetenz der Chemie-Lehramtsstudierenden. Zur Erfassung der Erklärkompetenz wurde ein Kodiermanual entwickelt, das zur Analyse der schriftlichen Erklärungen eingesetzt wurde. Mithilfe des Kodiermanuals konnte für jeden Studierenden ein Score ermittelt werden, der die individuelle Erklärkompetenz abbildet.

Zusammenhangsanalysen dienen zur Überprüfung der Forschungsfrage 4, inwieweit eine höhere Erklärkompetenz mit einem höheren Lernzuwachs zusammenhängt. Die Analysen zeigen, dass die Erklärkompetenz der Studierenden, die durch den Score der schriftlichen Erklärung dargestellt wird, nicht mit ihrem residualen Lernzuwachs im Fachwissen korreliert. Zugleich korreliert die Erklärkompetenz nicht mit den Ergebnissen des Post-Tests. Ein höheres Fachwissen ist demnach kein Prädiktor für eine qualitativ bessere Erklärung. Die Ergebnisse der Untersuchungen nach Fiorella (2023), Hefter et al. (2022) und Ruiz-Primo et al. (2010), wonach die Qualität einer Erklärung mit der Leistung in einem Fachwissenstest korreliert, konnten in dieser Untersuchung nicht repliziert werden. Die Ergebnisse der Studie nach Ryan und Koppenhofer (2024) zeigen eine positive Korrelation zwischen der Qualität einer Erklärung und Fachwissen, die zwar nicht stark ausgeprägt, jedoch statistisch signifikant war. In der vorliegenden Arbeit konnte kein Zusammenhang zwischen der Qualität der generierten Erklärung und der Lernleistung festgestellt werden. Folglich muss die Hypothese 4 *„Studierende mit einer höheren Erklärkompetenz erreichen einen höheren Lernzuwachs im Fachwissen“* abgelehnt werden.

Die Subanalyse der Extremgruppen zeigt, dass bei Studierenden mit hohem Wissen ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen ihrem Vorwissen und der Qualität ihrer Erklärungen vorhanden ist. Somit kann gezeigt werden, dass das Vorwissen ein Prädiktor für die Qualität einer eigenständig generierten Erklärung ist. Es zeigt sich jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Erklärkompetenz und den Post-Test-Ergebnissen bei Studierenden mit hohem Vorwissen. Damit kann der Einfluss des Vorwissens auf den Zusammenhang zwischen Erklärkompetenz und Fachwissen nicht belegt werden.

Prüfung der Gütekriterien des Kodiermanuals

Zur Prüfung, ob das Kodiermanual geeignet ist, die Erklärkompetenz der Studierenden objektiv, reliabel und valide zu erfassen, wurden die Ergebnisse zu Forschungsfrage 5 analysiert.

Hinsichtlich der Objektivität des Kodiermanuals werden zur Beurteilung die Doppelkodierungen der finalen Auswertung herangezogen. Der Krippendorffs Alpha-Koeffizient zeigt im Kontext der Inter-Koder-Reliabilitätsanalyse hohe Übereinstimmungen auf.

Die Subanalyse der Inter-Koder-Reliabilitäten der einzelnen Kategorien weist teilweise geringe Übereinstimmungen nach. Besonders in der Oberkategorie „*Fachliche Aspekte*“ zeigen sich geringe Übereinstimmungen mit Ausnahme der Kategorie „*Passende Fachbegriffe (Breite)*“. Eine mögliche Ursache für die niedrigen Werte des Krippendorffs Alpha-Koeffizienten stellt das unterschiedlich ausgeprägte Fachwissen der Kodiererinnen dar. Für die Einschätzung der fachlichen Korrektheit in der Oberkategorie ist ein hohes fachliches Verständnis der Kodiererinnen erforderlich. Aufgrund des unterschiedlichen Ausbildungsstands der verfügbaren Kodiererinnen differierten die fachlichen Einschätzungen erheblich. Die fachlichen Differenzen konnten durch Nachschulungen der Kodierer:innen nicht substantiell verringert werden. Aus Gründen der inhaltlichen Validität wurde entschieden, die fachlichen Aspekte als ein Konstrukt der Erklärqualität in jedem Fall zu kodieren. Dabei wurden die Kodierungen der Studierenden nicht von der Autorin selbst überprüft, daher sind die Ergebnisse mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren.

Auch die Einschätzung hinsichtlich der „*Stoff-Teilchenebene*“ oder dem Einsatz „*Anthropomorpher und teleologischer Formulierungen*“ setzt ein hohes fachliches Grundverständnis für das Kodieren voraus. Auch in diesen Kategorien führt der unterschiedliche Wissensstand der Kodiererinnen zu geringen Krippendorffs Alpha-Werten. Ähnlich verhält es sich bei der Kategorie „*Schrittweiser Aufbau*“, die sich auf die Strukturierung der Erklärung bezieht. Trotz des geringen Krippendorffs Alpha-Koeffizienten in der Kategorie „*Schrittweiser Aufbau*“ ist die prozentuale Übereinstimmung als akzeptabel zu werten. Insgesamt lässt sich das Kodiermanual als ausreichend objektiv einschätzen.

Die Reliabilität des Kodiermanuals wird mithilfe der internen Konsistenz überprüft. Insgesamt erreicht das Kodiermanual einen akzeptablen Cronbachs Alpha-Koeffizienten, sodass das Kodiermanual als reliabel eingeschätzt werden kann. Lediglich die Analyse der einzelnen Kategorien zeigt in manchen Kategorien geringe

Trennschärfen. Dazu zählen die Kategorien „*Schrittweiser Aufbau*“, „*Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt*“, „*Beschränkung auf wesentliche Informationen*“ sowie „*Anthropomorphe und teleologische Formulierungen*“. Besonders auffällig sind dabei die beiden letztgenannten Kategorien, da sie negative Trennschärfen aufweisen. Die geringen Trennschärfen deutet darauf hin, dass die Kategorien nicht dazu geeignet sind, zwischen guten und schlechten Erklärungen zu unterscheiden (Seiler, 2021). Um die inhaltliche Validität zu gewährleisten, werden die Kategorien im Rahmen der Analysen berücksichtigt (Früh, 2017).

Die erzielten akzeptablen Übereinstimmungen zwischen der Autorin und weiteren Kodierenden dienen als Indiz für die Validität, da sie zeigen, dass die Kodierungen trotz unterschiedlicher Anwenderinnen konsistent angewendet werden können. Zur Prüfung der Konstruktvalidität werden zudem Korrelationsanalysen zwischen den Ausarbeitungen zu den drei Themenbereichen der Intervention durchgeführt. Die hohen Korrelationen deuten darauf hin, dass das Kodiermanual das Konstrukt der Erklärkompetenz zuverlässig über alle Themen hinweg erfasst.

Als weiterer Prozess der inhaltlichen Validierung des Kodiermanuals dient die Erfassung des Zusammenhangs mit der Lernleistung der Studierenden im Rahmen des Fachwissenstests (Ruiz-Primo et al., 2010). Es können lediglich signifikante Zusammenhänge zwischen der gemessenen Erklärkompetenz und dem Fachwissen bei Studierenden mit hohem Vorwissen nachgewiesen werden (Hypothese 4). Der fehlende Zusammenhang zwischen dem Lernzuwachs und der Erklärkompetenz unabhängig vom Vorwissen könnte inhaltliche Aspekte als Ursache haben. Bei der Erstellung des Kodiermanuals wurden Kriterien aus der Literatur und empirischen Studien berücksichtigt (Kapitel 4.2.2), die ursprünglich untersucht haben, welche Merkmale eine Erklärung oder ein Erklärvideo aufweisen muss, damit die Adressat:innen daraus effektiv lernen. In der vorliegenden Studie dienen die generierten Erklärungen jedoch primär als Lerngelegenheit für die erklärende Person selbst. Die Anwendung der etablierten Kriterien guten Erklärens auf die produzierten Erklärungen wirft somit die Frage auf, inwieweit Kriterien, die für die Lernwirksamkeit bei Adressat:innen entwickelt wurden, Rückschlüsse auf die Kompetenz der erklärenden Person zulassen. Vor diesem Hintergrund kann das Kodiermanual als Instrument zur Erfassung der Erklärkompetenz der Teilnehmenden interpretiert werden, während es keinen direkten Indikator für deren Lernzuwachs darstellt. Gleichzeitig zeigt sich, dass der Zusammenhang zwischen Erklärkompetenz und Lernzuwachs nicht unabhängig vom Vorwissen der Teilnehmenden

den ist, das als zusätzliche Einflussgröße berücksichtigt werden muss. Unter diesen Bedingungen lässt sich die Hypothese hinsichtlich der Validität des Kodiermanuals dennoch als grundsätzlich zutreffend ansehen.

6.2 Diskussion forschungsmethodischer Aspekte

Studiendesign, Stichprobe und Messinstrumente werden im Folgenden hinsichtlich forschungsmethodischer Limitationen diskutiert.

Die Stichprobengröße war maßgeblich von den Einschreibezahlen der Chemie-Lehramtsstudierenden an der Universität Regensburg abhängig. Dies führte zu einer maximalen Stichprobengröße von $N = 200$, welche sich ungleichmäßig auf die Gruppen aufteilte. Da das Erstellen von Lernvideos lediglich Bestandteil der ersten Durchführung der Hauptstudie war, sind die entsprechenden Interventionsgruppen besonders klein. Zudem haben nicht alle Studienteilnehmenden alle Fachwissens-tests und Fragebögen bearbeitet, da die Teilnahme an den Testungen grundsätzlich freiwillig war. Auch die Teilnahme an den Seminaren zur Studie beruhte auf Freiwilligkeit. Damit ist die Repräsentativität der Stichprobe nur eingeschränkt gegeben. Da die Freiwilligkeit, an den Testungen teilzunehmen, auch die Kontrollgruppe betraf, verteilt sich die mangelnde Repräsentativität auf alle Gruppen.

Ein weiterer einschränkender Aspekt der Ergebnisse ist der zeitliche Abstand zwischen den Interventionen und den Testungen. Zwischen der dritten Intervention und dem Post-Test lag eine Woche, während zwischen der ersten Intervention und dem Post-Test sieben Wochen lagen. Die Ursache dafür liegt in der Dauer einer Interventionsspanne, die zwei Wochen beträgt. Darüber hinaus lagen zwischen der ersten und zweiten Intervention zwei Wochen Weihnachtsferien, in denen keine Vorlesungen und Seminare stattfanden. Aus diesem Grund vergrößerte sich der Abstand zwischen der ersten Intervention und dem Post-Test. Das Wissen, welches sich die Studierenden im Rahmen der dritten Intervention aneigneten, konnte direkt zum Post-Test eingesetzt werden. Die zeitliche Verzerrung hätte durch die Durchführung von Zwischentestungen direkt nach der jeweiligen Intervention verhindert werden können. Aufgrund zeitlicher Beschränkungen und bereits bestehenden hohen Testdauern, die sowohl Seminarzeiten als auch Vorlesungszeiten in Anspruch nahmen, wurde sich gegen zusätzliche Testungen entschieden. Um dem beschriebenen Problem dennoch zu begegnen, wurde in der Untersuchung die Reihenfolge der Thementauswahl in den Hauptstudien 1 und 2 gewechselt. In Hauptstudie 1 wurden die Themen in der Reihenfolge VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie behandelt. In der Hauptstudie 2 wurde die Reihenfolge Redoxchemie, VSEPR-Theorie und Säure-Base-Chemie gewählt. Da die Ergebnisse darauf hindeuten, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen

der beiden Hauptstudien vorhanden sind, wurden die Daten gemeinsam ausgewertet. Der Faktor der Zeit verteilt sich somit über beide Hauptstudien hinweg zwischen allen drei Themen.

Auch innerhalb der Methodik in den Seminargruppen finden sich Limitationen. So ist hinsichtlich der Kontrollgruppe anzumerken, dass keine Teilnahmekontrolle der Studierenden an den Tutorien realisierbar war. Da diese zu allen Terminen für die Teilnehmenden freiwillig waren, kann nicht nachvollzogen werden, wie viele Studierende an den Tutorien teilnahmen und an wie vielen Terminen sie anwesend waren. Zudem waren die Übungsblätter und die zugehörigen Lösungsblätter über eine Moodle-Plattform frei zugänglich, sodass eine fehlende Teilnahme nicht mit der fehlenden Bearbeitung der Übungsblätter gleichzusetzen ist. Jedoch war auch hier keine Kontrolle der Bearbeitung möglich.

Hinsichtlich den Seminargruppen, in welchen die Studierenden Lernvideos erstellten, ist der Aspekt der Gruppenarbeit zu diskutieren. Während die Gruppenarbeit zur Steigerung der Kreativität und zur Minderung der kognitiven Belastung gewählt wurde, stellt dies eine potenzielle Einschränkung der Vorgehensweise dar, da die individuellen Beiträge der Studierenden nicht nachvollzogen werden können. Diese Limitation wurde jedoch bewusst in Kauf genommen, um die ökologische Validität zu wahren. Das Arbeiten in unterschiedlichen Rollen und möglichen Aufgabenteilungen spiegelt die typischen Arbeitsformen in universitären Lerngruppen wider. Ziel der Studie war es zudem, Gruppenvergleiche vorzunehmen, anstelle Aussagen auf individueller Ebene zu treffen. Dieser Ansatz erlaubt weiterhin aussagekräftige Ergebnisse.

Auch die Erstellung der schriftlichen Erklärungen der beiden anderen Seminargruppen erfolgte nicht in Präsenz, sodass nicht sichergestellt werden konnte, ob diese entsprechend den Vorgaben eigenständig erstellt wurden. Inwieweit KI-Programme als Hilfsmittel genutzt wurden oder gar zur Erstellung der schriftlichen Ausarbeitungen dienten, konnte nicht nachverfolgt werden. Eine Prüfung der abgegebenen Arbeiten ergab jedoch, dass keine identischen Erklärungen vorlagen, sodass diese Limitation weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Eine weitere Limitation der Ergebnisse zum Lernzuwachs in den Gruppen, welche im Anschluss an ein fremderstelltes Lernvideo eine schriftliche Erklärung erstellten, bezieht sich auf die Intervention selbst. Aufgrund der Kombination zweier Maßnahmen im Rahmen einer einzelnen Intervention, kann der Einfluss auf den Lernzuwachs nicht auf eine einzelne Maßnahme zurückgeführt werden, sondern

nur auf die Kombination. Inwieweit der Lernzuwachs auf dem Anschauen eines Lernvideos und/oder auf der Erstellung einer schriftlichen Erklärung beruht, kann nicht geklärt werden. Um die Effekte der einzelnen Maßnahmen zu prüfen, müssten sie in zusätzlichen Gruppen variiert werden. So bedarf es einer weiteren Interventionsgruppe, welche lediglich die Lernvideos erhält, ohne schriftliche Erklärungen zu erstellen. Dem entgegengesetzt müssten Studierende einer alternativen Interventionsgruppe schriftliche Erklärungen ohne einer instruktionalen Hilfestellung in Form von Lernvideos erstellen. Das Gegenüberstellen dieser Interventionen könnte einen Beitrag dazu leisten, die Effekte des Lernzuwachses auf die jeweiligen Maßnahmen zurückzuführen. Dies bietet die Möglichkeit, diesem Desiderat in zukünftigen Forschungsarbeiten zu begegnen.

Hinsichtlich der inferenzstatistischen Auswertung ist zu berücksichtigen, dass durch die Durchführung mehrerer gemischter linearer Modelle potenziell eine Alpha-Fehler-Kumulierung entsteht. Auf eine Korrektur wurde jedoch verzichtet, da die Modelle unterschiedliche inhaltliche Fragestellungen und thematische Schwerpunkte adressieren.

Das im Rahmen der Studie entwickelte Kodiermanual dient dazu, die Erklärkompetenz der Studierenden zu erfassen. Die unzureichend objektiv zu bewertenden Kategorien betreffen diejenigen, die ein hohes Fachwissen der kodierenden Person voraussetzen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Wesentliche Ziele der vorliegenden Arbeit waren die Entwicklung und der Einsatz von Methoden zur Förderung des Fachwissens und der Erklärkompetenz Chemie-Lehramtsstudierender. Dazu wurde ein Seminarkonzept entwickelt, das zwischen den Einsatzmöglichkeiten von Lernvideos in Form des Rezipierens und des Selbsterstellens differenziert hat. Zugleich wurde im Rahmen des Seminars die Förderung der Erklärkompetenz durch die Verknüpfung des Einsatzes von Lernvideos mit dem Generieren von Erklärungen, welches sich ebenfalls als lernförderlich erwiesen hat, angestrebt. Dabei sollte dem Forschungsdesiderat begegnet werden, inwieweit das Generieren von Erklärungen in Form von Lernvideos lernförderlicher ist als das Rezipieren von Lernvideos in Verbindung mit dem Generieren von schriftlichen Erklärungen. Auch wurde die Frage ergänzt, ob instruktionale Lernvideos in Form von Erklärvideos oder ausgearbeitete Lösungsbeispiele in Form von Video-Modeling-Examples lernförderlich sind. Durchgeführt wurde die Studie mit Chemie-Lehramtsstudierenden, welche die Vorlesungen zur analytischen und anorganischen Chemie des Einführungsmoduls „Allgemeine Chemie“ an der Universität Regensburg besuchten. Diese haben jeweils drei Erklärungen während ihres ersten Studiensemesters generiert. Begleitend wurde das Fachwissen zum Prä-, Post- und Follow-Up-Zeitpunkt erhoben.

Als wesentliches Ergebnis lässt sich feststellen, dass das Generieren von Erklärungen zu einem langfristigen Fachwissenszuwachs geführt hat. Dabei war die Art der Erklärung nicht entscheidend. So konnten sowohl bei schriftlichen als auch videografischen Erklärungen signifikante Unterschiede im langfristigen Wissenserwerb im Vergleich mit einer Kontrollgruppe erreicht werden. Das Generieren von Erklärungen scheint eine tiefe kognitive Informationsverarbeitung im Fachwissen zu fördern (Fiorella & Mayer, 2013). Hinsichtlich der instruktionalen Hilfestellung im Erstellen von Erklärungen zeigt sich, dass sowohl das Erhalten von Video-Modeling-Examples als auch Erklärvideos einen signifikant höheren Wissenserwerb erzielt haben als das Lernen ohne Lernvideos. Lediglich in der thematischen Analyse ergaben sich erste Hinweise darauf, dass das Erstellen schriftlicher Erklärungen im Anschluss an Erklärvideos stärkere Effekte erzielt hat als nach Video-Modeling-Examples.

In Bezug auf den kurzfristigen Lernerfolg war das Erstellen von schriftlichen Erklärungen im Anschluss an ein fremderstelltes Lernvideo signifikant besser als das

selbstständige Erstellen von Lernvideos ohne schriftliche Erklärungen. Es finden sich Hinweise, dass das Rezipieren von Erklärvideos lernförderlicher war als das von Video-Modeling-Examples. Dies deutet darauf hin, dass Video-Modeling-Examples ein unvollständiges Verständnis zu einem Themenbereich abbilden, während instruktionale Inhalte in Erklärvideos unvollständiges Wissen von Novizen abbauen können (Chi et al., 1989).

Im Rahmen der Studie konnte somit gezeigt werden, dass sich das Erstellen einer Erklärung signifikant positiv auf den Fachwissenszuwachs auswirkt. Dadurch konnten Ergebnisse vorher durchgeführter Studien bestätigt werden und die Bedeutsamkeit des Erstellens von Erklärungen als Methode des Wissenszuwachses belegt werden. Zur Untersuchung, inwieweit die Qualität der Erklärung dabei entscheidend ist, wurden die schriftlichen Erklärung anhand eines eigens entwickelten Kodiermanuals bewertet. Entgegen den Ergebnissen nach Fiorella (2023), Hefter et al. (2022) oder Ruiz-Primo et al. (2010) waren keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Erklärqualität und dem Lernzuwachs nachweisbar. Es ließen sich lediglich bei Studierenden mit einem hohen Vorwissen moderate Zusammenhänge zwischen Vorwissen und Post-Test-Ergebnis zeigen. Der Wissenszuwachs scheint auf der aktiven Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten im Rahmen der Erstellung einer Erklärung zu basieren und nicht auf der Qualität dieser (Ruiz-Primo et al., 2010). Das Erstellen von Erklärungen kann somit als Mittel zur aktiven Auseinandersetzung im Rahmen des Lernprozesses eingesetzt werden, ungeachtet ihrer Qualität und Fehlerhaftigkeit (Kuhn & Reiser, 2004; Ruiz-Primo et al., 2010). Entscheidend ist somit die Auseinandersetzung mit fachlichen Inhalten durch das Erstellen von Erklärungen, während die Qualität der Erklärungen und somit die Erklärkompetenz keinen maßgeblichen Einfluss auf den Lernerfolg ausübt.

Die Studie liefert hinsichtlich der Art des rezipierten Videos erste Hinweise darauf, dass Erklärvideos in Abhängigkeit des jeweiligen thematischen Inhaltes lernförderlicher sein können als Video-Modeling-Examples. Dies bietet die Gelegenheit, in weiteren Studien die Lernwirksamkeit von Erklärvideos und Video-Modeling-Examples in Abhängigkeit weiterer Themen zu untersuchen. Da in der vorliegenden Studie das Rezipieren eines Videos mit dem Erstellen einer schriftlichen Erklärung verknüpft wurde, kann der Aspekt der Lernförderlichkeit nicht allein auf die Lernvideoart zurückgeführt werden. Darüber hinaus fehlen Hinweise auf Unterschiede im Lernen mit unterschiedlichen Lernvideoarten. Hier bieten sich Un-

tersuchungen mit Eyetracking oder Tracking des Nutzungsverhaltens der Lernvideos an. Dabei könnte untersucht werden, ob Unterschiede in der aktiven Auseinandersetzung zwischen Erklärvideos und Video-Modeling-Examples vorhanden sind und ob diese in einem unterschiedlichen Lernerfolg resultieren. Ergänzend könnte der Einfluss von Lernvideos auf das Lernen durch Erklären untersucht werden, indem eine weitere Kontrollgruppe ohne das Rezipieren von Lernvideos Erklärungen erstellt. Dadurch könnte gezielt die Bedeutsamkeit von Lernvideos im Erstellen von Erklärungen ergründet werden.

Hinsichtlich der Nachhaltigkeit des Wissenszuwachses bleibt offen, inwieweit der erhöhte Lernzuwachs durch das eigenständige Generieren von Erklärungen den Grundstein für einen erhöhten Lernzuwachs in nachfolgenden Lehrveranstaltungen bietet. In Anlehnung an der Forschungsarbeit nach Averbeck (2020) könnte in einer anschließenden Längsschnittstudie die Bedeutsamkeit des Fachwissenszuwachses in der Einführungsveranstaltung „Allgemeine Chemie“ für den Lernerfolg in weiteren Veranstaltungen des Chemiestudiums erforscht werden.

8 Literaturverzeichnis

- Abele, A. E., Stief, M. & Andrä, M. S. (2000). Zur ökonomischen Erfassung beruflicher Selbstwirksamkeitserwartungen – Neukonstruktion einer BSW-Skala. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O*, 44(3), 145–151.
- Acuña, S. R., García-Rodicio, H. & Sánchez, E. (2011). Fostering active processing of instructional explanations of learners with high and low prior knowledge. *European Journal of Psychology of Education*, 26(4), 435–452.
- Aleven, V. & Koedinger, K. R. (2002). An effective metacognitive strategy: Learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor. *Cognitive Science*, 26(2), 147–179.
- Anderson, J. R. (1988). *Kognitive Psychologie*. Springer.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research*, 70(2), 181–214.
- Averbeck, D. (2020). *Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums* (Bd. 308). Logos.
- Averbeck, D., Hasselbrink, E. & Sumfleth, E. (2018). Einfluss der „Allgemeinen Chemie“ auf den Studienerfolg im ersten Semester. In C. Maurer (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik - Jahrestagung in Regensburg 2017: Bd. 38. Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimension* (S. 491–494).
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.
- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Prentice Hall.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice Hall.
- Bannert, M. (2009). Promoting Self-Regulated Learning Through Prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 139–145.
- Bartón, K. (2024). Multi-model inference: Version: 1.48.4. <https://CRAN.R-project.org/package=MumIn>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1).
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.

- Baumert, J. & Kunter, M. (2013). The COACTIV model of teachers' professional competence. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Mathematics teacher education: Bd. 8. Cognitive activation in the mathematics classroom and professional competence of teachers: Results from the COACTIV project* (S. 25–48). Springer.
- Bersch, S., Merkel, A., Oldenburg, R. & Weckerle, M. (2020). Erklärvideos: Chancen und Risiken: Zwischen fachlicher Korrektheit und didaktischen Zielen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*, 109, 58–63.
- Berthold, K. & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 70–87.
- Berthold, K. & Renkl, A. (2010). How to foster active processing of explanations in instructional communication. *Educational Psychology Review*, 22(1), 25–40.
- Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (3. Aufl.). Springer.
- Bishop, J. & Verleger, M. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. *ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. McKay; Longman.
- Böhme, R. & Munser-Kiefer, M. (2020). Lernunterstützung mit digitalen Unterrichtsmaterialien: Interdisziplinäre Erkenntnisse und Entwicklungsperspektiven. In K. Rummler, I. Koppel, S. Aßmann, P. Bettinger & K. D. Wolf (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 17: Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt* (S. 427–454). MedienPädagogik.
- Börger, J. (2022). *Videogestütztes Lernen durch Erklären in der universitären Ausbildung angehender Lehrkräfte: Die Methode One-Take-Video*. Universität zu Köln.
- Borowski, A., Neuhaus, B. J., Tepner, O., Wirth, J., Fischer, H. E [Hans E.], Leutner, D., Sandmann, A. & Sumfleth, E. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN) – Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 341–349.

- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Springer.
- Boscolo, P. & Mason, L. (2001). Writing to learn, writing to transfer. In P. Tynjälä, L. Mason & K. Lonka (Hrsg.), *Writing as a learning tool: Integrating theory and practice* (S. 83–104). Springer Netherlands.
- Braaten, M. & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639–669.
- Brame, C. J. (2016). Effective educational videos: Principles and guidelines for maximizing student learning from video content. *CBE - Life Sciences Education*, 15(4).
- Brown, A. L. & Campione, J. C. (1990). Interactive learning environments and the teaching of science and mathematics. In M. Gardner, J. G. Greeno, F. Reif, A. Schoenfeld, diSessa A. & E. Stage (Hrsg.), *Toward a scientific practice of science education* (S. 111–139). Lawrence Erlbaum.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. Pearson.
- Bühner, M. (2021). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. Pearson.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2017). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Pearson.
- Cabello Gonzales, V. M. (2013). *Developing skills to explain scientific concepts during initial teacher education: the role of peer assessment*. University of Dundee.
- Champely, S. (2020). *pwr: Basic functions for power analysis*. <https://CRAN.R-project.org/package=pwr>
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332.
- Chi, M. T. H. (2000). Self-explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in Instructional Psychology* (S. 161–238). Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. T. H. (2001). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, 25(4), 471–533.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13(2), 145–182.

- Chi, M. T. H., Leeuw, N. de, Chiu, Mei, Hung & Lavancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18(3), 439–477.
- Chi, M. T. H., Roy, M. & Hausmann, R. G. M. (2008). Observing tutorial dialogues collaboratively: insights about human tutoring effectiveness from vicarious learning. *Cognitive Science*, 32(2), 301–341.
- Chi, M. T. H. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243.
- Choi, H.-H., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (2014). Effects of the Physical Environment on Cognitive Load and Learning: Towards a New Model of Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 26(2), 225–244.
- Clemmons, J. & Posey, R. (2016). Creating dynamic learning through student-created video projects. *Currents in Teaching & Learning*, 8(2), 62–72.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Erlbaum.
- Cooper, G. (1990). Cognitive load theory as an aid for instructional design. *Australasian Journal of Educational Technology*, 6(2), 108–113.
- Cooper, G. & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79(4), 347–362.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–228.
- Diaz-Bone, R. & Weischer, C. (Hrsg.). (2015). *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften*. Springer.
- Dohmen, D. (2024). *Lehrkräftemangel! Und kein Ende in Sicht*. FiBS Forschungsinstitut für Bildungs- und Sozialökonomie.
- Döring, N. (2023). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer.
- Ehras, C. (2023). *Perspektiven auf gute instruktionale Erklärungen im Biologieunterricht: Komplexität als didaktische Herausforderung*. Universität Regensburg.

- Findeisen, S. (2017). *Fachdidaktische Kompetenzen angehender Lehrpersonen: Eine Untersuchung zum Erklären im Rechnungswesen*. Springer.
- Findeisen, S., Horn, S. & Seifried, J. (2019). Lernen durch Videos – Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*(19), 16–36.
- Fiorella, L. (2023). Fostering knowledge building in learning by teaching: A test of the drawing-facilitates-explaining hypothesis. *Applied Cognitive Psychology*, 37(5), 1124–1138.
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2013). The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 281–288.
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2014). Role of expectations and explanations in learning by teaching. *Contemporary Educational Psychology*, 39(2), 75–85.
- Fischer, V., Walpuski, M., Lang, M., Letzner, M., Manzel, S., Motté, P., Paczulla, B., Sumfleth, E. & Leutner, D. (2021). Was beeinflusst die Entscheidung zum Studienabbruch? Längsschnittliche Analysen zum Zusammenspiel von Studienzufriedenheit, Fachwissen und Abbruchintention in den Fächern Chemie, Ingenieur- und Sozialwissenschaften. *ZeHf – Zeitschrift für empirische Hochschulforschung*, 4(1-2020), 55–80.
- Fleischer, J., Leutner, D., Brand, M., Fischer, H., Lang, M., Schmiemann, P. & Sumfleth, E. (2019). Vorhersage des Studienabbruchs in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 22(5), 1077–1097.
- Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*. SAGE. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Frei, M. (2023). *Erklären im Musikunterricht: Eine Studie zu Qualitätsmerkmalen*. Waxmann.
- Frei, M., Asen-Molz, K., Hilbert, S., Schilcher, A. & Krauss, S. (2020). Die Wirksamkeit von Erklärvideos im Rahmen der Methode Flipped Classroom. In *Bildung, Schule, Digitalisierung* (S. 284–290). Waxmann.
- Freyer, K. (2013). *Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie*. Logos.
- Früh, W. (2017). *Inhaltsanalyse: Theorie und Praxis. UTB Medien- und Kommunikationswissenschaft, Psychologie, Soziologie*. UVK.
- Fukaya, T. (2013). Explanation generation, not explanation expectancy, improves metacomprehension accuracy. *Metacognition Learning*, 8(1), 1–18.

- Geelan, D. (2012). Teacher Explanations. In B. J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Springer international handbooks of education: Bd. 24. Second international handbook of science education* (S. 987–999). Springer.
- Geelan, D. (2013). Teacher explanation of physics concepts: a video study. *Research in Science Education*, 43(5), 1751–1762.
- Gillespie, R. J. (2004). Teaching molecular geometry with the VSEPR model. *Journal of Chemical Education*, 81(3), 298.
- Gillespie, R. J. & Matta, C. F. (2001). Teaching the VSEPR model and electron densities. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2(2), 73–90.
- Gillespie, R. J. & Nyholm, R. S. (1957). Inorganic stereochemistry. *Quarterly Reviews, Chemical Society*, 11(4), 339.
- Gillespie, R. J. & Robinson, E. A. (2005). Models of molecular geometry. *Chemical Society reviews*, 34(5), 396–407.
- Gorbunova, A., Kapuza, A., Chen, O. & Costley, J. (2025). Rethinking pre-training: cognitive load implications for learners with varying prior knowledge. *Frontiers in psychology*, 16, 1–12.
- Guo, P. J., Kim, J. & Rubin, R. (2014). How video production affects student engagement. In M. Sahami, A. Fox, M. A. Hearst & M. T. Chi (Hrsg.), *Proceedings of the first ACM conference on Learning @ scale conference* (S. 41–50).
- Hailikari, T. K. & Nevgi, A. (2010). How to diagnose at-risk students in chemistry: The case of prior knowledge assessment. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2079–2095.
- Halliday, M. A. K. & Martin, J. R. (1993). *Writing Science: Literacy and Discursive Power*. The Falmer Press.
- Hausmann, R. G. & VanLehn, K. (2007). Explaining self-explaining: A contrast between content versus generation. In R. Luckin, K. R. Koedinger & J. E. Greer (Hrsg.), *Artificial intelligence in education: Building technology rich learning contexts that work* (S. 417–424). IOS Press.
- Hefter, M. H., Fromme, B. & Berthold, K. (2022). Digital training intervention on strategies for tackling physical misconceptions — Self-explanation matters. *Applied Cognitive Psychology*, 36(3), 648–658.
- Heinze, J. (2022). *Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik*. Logos.

- Helmke, A. (2014). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Klett Kallmeyer.
- Hempel, C. G. & Oppenheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135–175.
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW).
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (2010). *Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen: Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08*. HIS: Forum Hochschule.
- Hilbert, S., Stadler, M., Lindl, A., Naumann, F. & Bühner, M. (2019). Analyzing longitudinal intervention studies with linear mixed models. *TPM - Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*(26), 101–119.
- Hilbert, T. S., Renkl, A., Schworm, S., Kessler, S. & Reiss, K. (2008). Learning to teach with worked-out examples: a computer-based learning environment for teachers. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 316–332.
- Hoogerheide, V., Deijkers, L., Loyens, S. M., Heijltjes, A. & van Gog, T. (2016). Gaining from explaining: Learning improves from explaining to fictitious others on video, not from writing to them. *Contemporary Educational Psychology*, 44-45, 95–106.
- Hoogerheide, V., Loyens, S. M. & van Gog, T. (2014a). Comparing the effects of worked examples and modeling examples on learning. *Computers in Human Behavior*, 41, 80–91.
- Hoogerheide, V., Loyens, S. M. & van Gog, T. (2014b). Effects of creating video-based modeling examples on learning and transfer. *Learning and Instruction*, 33, 108–119.
- Höttecke, D., Ehmke, T., Krieger, C. & Kulik, M. A. (2017). Vergleichende Messung fachsprachlicher Fähigkeiten in den Domänen Physik und Sport. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 53–69.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9–15.
- Kaiser, I. & Mayer, J. (2019). The long-term benefit of video modeling examples for guided inquiry. *Frontiers in Education*, 4(104), 1–18.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31.

- Kant, J. M., Scheiter, K. & Oschatz, K. (2017). How to sequence video modeling examples and inquiry tasks to foster scientific reasoning. *Learning and Instruction*, 52, 46–58.
- Kay, R. & Kletschin, I. (2012). Evaluating the use of problem-based video podcasts to teach mathematics in higher education. *Computers & Education*, 59(2), 619–627.
- Kelava, A. & Moosbrugger, H. (2020). Deskriptivstatistische Itemanalyse und Testwertbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 143–158). Springer.
- Kiel, E. (1999). *Erklären als didaktisches Handeln*. Ergon.
- Kirschner, F., Paas, F. & Kirschner, P. A. (2009). Individual and group-based learning from complex cognitive tasks: Effects on retention and transfer efficiency. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 306–314.
- Kirschner, F., Paas, F. & Kirschner, P. A. (2011). Superiority of collaborative learning with complex tasks: A research note on an alternative affective explanation. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 53–57.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klein, J. (2009). Erklären-Was, Erklären-Wie, Erklären-Warum, Typologie und Komplexität zentraler Akte der Welterschließung. In R. Vogt (Hrsg.), *Erklären: Gesprächsanalytische und fachdidaktische Perspektiven* (S. 25–36). Stauffenburg.
- Klein, P. D. (2004). Constructing scientific explanations through writing. *Instructional Science*, 32(3), 191–231.
- KMK. (2023). *Lehrkräfteeinstellungsbedarf und -angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2023 – 2035: Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder*. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Statistik/Dokumentationen/Dok_238_Bericht_LEB_LEA_2023.pdf
- Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (2017). Naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten: Potenziale des Lernens mit Lösungsbeispielen und Experimentierboxen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 81–98.

- Kölbach, E., Maier-Richter, A. & Sumfleth, E. (2015). Lösungsbeispiele – Eine besondere Form von Lernaufgaben zur Unterstützung individuellen Lernens in den Naturwissenschaften. *Chemkon*, 22(1), 7–14.
- Kölbach, E. & Sumfleth, E. (2013). Analyse von Kontexteffekten beim Lernen mit Lösungsbeispielen im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 159–188.
- Königseder, S. (2025). *Überprüfung der inhaltlichen Breite sowie Objektivität eines Kodiermanuals zur Bewertung der Erklärqualität schriftlicher Erklärungen von Chemie-Lehramtsstudierenden* [Unveröffentlichte Examensarbeit]. Universität Regensburg.
- Krauss, S., Kunter, M., Brunner, M., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Jordan, A. & Löwen, K. (2004). COACTIV: Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 77–108). Waxmann.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M. & Jordan, A. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29, 223–258.
- Kremer, C. (2024). *Kodiermanual zur Bewertung der Erklärqualität schriftlicher Erklärungen von Chemielehramtsstudierenden: Weiterentwicklung und Analyse der Objektivität* [Unveröffentlichte Examensarbeit]. Universität Regensburg.
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*. Logos.
- Krippendorff, K. (2004a). *Content analysis: An introduction to its methodology*. SAGE.
- Krippendorff, K. (2004b). Reliability in content analysis: Some common misconceptions and recommendations. *Human Communication Research*, 30(3), 411–433.
- Krippendorff, K. (2011). *Computing krippendorff's alpha-reliability*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Computing-Krippendorff%27s-Alpha-Reliability-Krippendorff/23f48132c4629b134c0d60fb668e645af99076fb>

- Kuhn, L. & Reiser, B. J. (2004). Students constructing and defending evidence-based scientific explanations. In *Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching* (S. 1–35).
- Kulgemeyer, C. (2018). A framework of effective science explanation videos informed by criteria for instructional explanations. *Research in Science Education*, 50(6), 2441–2462.
- Kulgemeyer, C. (2019a). Qualitätskriterien zur Gestaltung naturwissenschaftlicher Erklärvideos. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 285–288).
- Kulgemeyer, C. (2019b). Towards a framework for effective instructional explanations in science teaching. *Studies in Science Education*, 54(2), 109–139.
- Kulgemeyer, C. (2020). Erklären im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik: Grundlagen* (4. Auflage, S. 403–426). Springer.
- Kulgemeyer, C. (2022). Wirken falsche Erklärungen auf Basis von Schülervorstellungen in YouTube-Erklärvideos attraktiv auf Lernende? In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *GDCP Jahrestagung Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen* (S. 124–127).
- Kulgemeyer, C. & Geelan, D. (2024). Towards a constructivist view of instructional explanations as a core practice of science teachers. *Science Education*, 108(4), 1034–1050.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009a). Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kommunikationsbegriffs. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 131–153.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009b). Physikalische Darstellungsformen: Ein Beitrag zur Klärung von „Kommunikationskompetenz“. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(6), 331–336.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2013). Students Explaining Science—Assessment of Science Communication Competence. *Research in Science Education*, 43(6), 2235–2256.
- Kulgemeyer, C., Sterzing, F. & Hörnlein, M. (2023a). Aus Erklärvideos lernen. In T. Wilhelm (Hrsg.), *Digital Physik unterrichten: Grundlagen, Impulse, Perspektiven* (S. 225–239). Klett Kallmeyer.

- Kulgemeyer, C., Sterzing, F. & Hörnlein, M. (2023b). Von der „Shallowing Hypothese“ zur Illusion of Understanding“ – wie wirken Erklärvideos und Lehrbuchtexte auf Wissen und Verstehensillusion? In H. van Vorst (Hrsg.), *GDCP Jahrestagung Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt* (S. 382–385).
- Kulgemeyer, C. & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären – Messung der Erklärensfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 111–126.
- Kulgemeyer, C. & Wittwer, J. (2023). Misconceptions in physics explainer videos and the illusion of understanding: An experimental study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(2), 417–437.
- Kuznetsova, A., Bruun Brockhoff, P. & Haubo Bojesen Christensen, R. (2017). lmerTest package: tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1–26.
- Lachner, A., Backfisch, I., Hoogerheide, V., van Gog, T. & Renkl, A. (2020). Timing matters! Explaining between study phases enhances students' learning. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 841–853.
- Lachner, A., Jacob, L. & Hoogerheide, V. (2021). Learning by writing explanations: Is explaining to a fictitious student more effective than self-explaining? *Learning and Instruction*, 74, 1–13.
- Lachner, A., Ly, K.-T. & Nückles, M. (2018). Providing written or oral explanations? Differential effects of the modality of explaining on students' conceptual learning and transfer. *The Journal of Experimental Education*, 86(3), 344–361.
- LeFevre, J. A. & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3(1), 1–30.
- Lehner, M. (2020). *Didaktische Reduktion*. Haupt.
- Leinhardt, G. (2001). Instructional explanations: A commonplace for teaching and location for contrast. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (4. Aufl., S. 333–357). American Educational Research Association.
- Leinhardt, G. & Steele, M. D. (2005). Seeing the complexity of standing to the side: instructional dialogues. *Cognition and Instruction*, 23(1), 87–163.
- Leisen, J. (2007). Das Erklären im Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 60(8), 459–462.
- Leonhart, R. (2022). *Lehrbuch Statistik: Einstieg und Vertiefung*. Hogrefe.

- Lind, G., Friege, G., Kleinschmidt, L. & Sandmann, A. (2004). Beispiellernen und Problemlösen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 29–49.
- Lindl, A., Gaier, L., Weich, M., Frei, M., Ehras, C., Gastl-Pischetsrieder, M., Elmer, M., Asen-Molz, K., Ruck, A.-M., Heinze, J., Murmann, R., Gunga, E. & Röhl, S. (2019). Eine ‚gute‘ Erklärung für alle?! Gruppenspezifische Unterschiede in der Beurteilung von Erklärqualität – erste Ergebnisse aus dem interdisziplinären Forschungsprojekt FALKE. In T. Ehmke, P. Kuhl & M. Pietsch (Hrsg.), *Lehrer. Bildung. Gestalten: Beiträge zur empirischen Forschung in der Lehrerbildung* (S. 128–141). Beltz Juventa.
- Loock, H.-P. (2011). Expanded definition of the oxidation state. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 282–283.
- Mackensen-Friedrichs, I. (2004). *Förderung des Expertiseerwerbs durch das Lernen mit Beispielaufgaben im Biologieunterricht der Klasse 9*. Christian-Albrechts-Universität.
- Maier-Richter, A. (2005). *Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie: Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*. Logos.
- Matthews, P. & Rittle-Johnson, B. (2009). In pursuit of knowledge: comparing self-explanations, concepts, and procedures as pedagogical tools. *Journal of Experimental Child Psychology*, 104(1), 1–21.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1–19.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning* (First edition). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (Second edition). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52.
- McClellan, D., Chastain, R. J. & DeCaro, M. S. (2023). Enhancing learning from online video lectures: the impact of embedded learning prompts in an undergraduate physics lesson. *Journal of Computing in Higher Education*, 36(3), 1–23.
- McNeill, K. L. & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53–78.

- Messner, H., Niggli, A. & Reusser, K. (2009). Hochschule als Ort des Selbststudiums - Spielräume für selbstgesteuertes Lernen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27(2), 149–162.
- Moos, D. C. & Bonde, C. (2016). Flipping the classroom: Embedding self-regulated learning prompts in videos. *Technology, Knowledge and Learning*, 21(2), 225–242.
- Moosbrugger, H. & Brand, M. (2020). Itemkonstruktion und Antwortverhalten. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 67–90). Springer.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2020). Qualitätsanforderungen an Tests und Fragebögen („Gütekriterien“). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 13–38). Springer.
- Mwangi, W. & Sweller, J. (1998). Learning to solve compare word problems: The effect of example format and generating self-explanations. *Cognition and Instruction*, 16(2), 173–199.
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Springer Spektrum.
- Neubrand, M. (2005). Professionalität von Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrern: Konzeptualisierungen und Ergebnisse aus der COACTIV- und der PISA-Studie. *Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*.
- Neumeister, N. (2011). *(Wie) Wird im Deutschunterricht erklärt? – Wissensvermittelnde Handlungen im Sprachunterricht der Sekundarstufe I* [Dissertation]. Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg.
- Nivelstein, F., van Gog, T., van Dijck, G. & Boshuizen, H. P. (2013). The worked example and expertise reversal effect in less structured tasks: Learning to reason about legal cases. *Contemporary Educational Psychology*, 38(2), 118–125.
- Novak, A. M. & Treagust, D. F. (2022). Supporting the development of scientific understanding when constructing an evolving explanation. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 4(1).
- Nückles, M., Wittwer, J. & Renkl, A. (2005). Information about a layperson's knowledge supports experts in giving effective and efficient online advice to laypersons. *Journal of experimental psychology*, 11(4), 219–236.
- Osborne, J. F. & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627–638.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4.

- Paas, F. & Sweller, J. (2021). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 73–81). Cambridge University Press.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Paivio, A. (1990). *Mental Representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Parkin, G. (2006). Valence, oxidation number, and formal charge: Three related but fundamentally different concepts. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 791–799.
- Pirolli, P. & Recker, M. (1994). Learning strategies and transfer in the domain of programming. *Cognition and Instruction*, 12, 235–275.
- Ploetzner, R., Dillenbourg, P., Preier, M. & Traum, D. (1999). Learning by explaining to oneself and to others. In P. Dillenbourg (Hrsg.), *Collaborative learning: Cognitive and computational approaches* (S. 103–121). Elsevier Science & Technology Books.
- Porst, R. (2014). Frageformulierung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 687–699). Springer.
- Prediger, S. & Erath, K. (2014). Content, interaction, or both? Synthesizing two german traditions in a video study on learning to explain in mathematics classroom microcultures. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(4), 313–327.
- Quilici, J. L. & Mayer, R. E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, 88(1), 144–161.
- Rat für kulturelle Bildung. (2019). *Jugend/YouTube/Kulturelle Bildung: Studie: eine repräsentative Umfrage unter 12- bis 19-Jährigen zur Nutzung kultureller Bildungsangebote an digitalen Kulturorten. Horizont: Bd. 2019*. Rat für Kulturelle Bildung e.V.
- Reimer, S. & Tepner, O. (2025). Förderung der adaptiven Erklärkompetenz angehender Chemielehrkräfte durch Reflexion videografiertes adaptiver Erklärhandlungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 31(1).
- Reinhold, P. (2010). Den Physikunterricht fundieren. Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), *Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 86–119). Cornelsen Scriptor.

- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21(1), 1–29.
- Renkl, A. (2001). Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen. *Unterrichtswissenschaft*, 29(1), 41–63.
- Renkl, A. (2014). The worked examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 391–412). Cambridge University Press.
- Renkl, A., Atkinson, R. K. & Maier, U. H. (2000). From studying examples to solving problem: Fading worked-out solution steps helps learning. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 22.
- Renkl, A., Hilbert, T. S., Schworm, S. & Reiss, K. (2007). Cognitive skill acquisition from complex examples: A taxonomy of examples and tentative instructional guidelines. In M. Prenzel (Hrsg.), *Studies on the educational quality of schools: The final report on the DFG Priority Programme* (S. 239–249). Waxmann.
- Renkl, A. & Schworm, S. (2002). Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. In J. Doll (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft; 45. Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (S. 259–270). Beltz.
- Renkl, A., Stark, R., Gruber, H. & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23(1), 90–108.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57–66.
- Richardson, M., Abraham, C. & Bond, R. (2012). Psychological correlates of university students' academic performance: a systematic review and meta-analysis. *Psychological bulletin*, 138(2), 353–387.
- Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2019). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (12. Aufl.). De Gruyter.
- Rincke, K. (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(16), 235–260.
- Rivard, L. P. & Straw, S. B. (2000). The effect of talk and writing on learning science: An exploratory study. *Science Education*, 84(5), 566–593.

- Robert Bosch Stiftung. (2023). *Das Deutsche Schulbarometer: Aktuelle Herausforderungen der Schulen aus Sicht der Schulleitungen*. Robert Bosch Stiftung.
https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.bosch-stiftung.de/sites/default/files/documents/2023-01/2023-%252001-18_Deutsches_Schulbarometer_5_Schulleitung_FACT_SHEET.pdf&ved=2ahUKEwic_NHYnoOIAxVShf0HHQi3AzoQFnoECBgQAQ&usq=AOvVaw01BTmotNLHKCZyv7yRjqeS
- Roelle, J., Berthold, K. & Renkl, A. (2014). Two instructional aids to optimise processing and learning from instructional explanations. *Instructional Science*, 42(2), 207–228.
- Röhrl, S. & Krauss, S. (2017). Erfolgreiches Erklären im Mathematikunterricht. In U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 1149–1152). WTM.
- Rosenthal, R. (1969). Interpersonal expectations. In R. Rosenthal & R. L. Rosnow (Hrsg.), *Artifacts in behavioral research* (S. 181–277). Academic Press.
- Rost, D. H. (2013). *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien: Eine Einführung* (3. Aufl.). Julius Klinkhardt.
- Rost, D. H. (2022). *Interpretation und Bewertung pädagogischer und psychologischer Studien: Eine Einführung* (4. Aufl.). Julius Klinkhardt.
- Roy, M. & Chi, M. T. H. (2005). The self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 271–286). Cambridge University Press.
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated development for R [Computer software]*. PBC. <http://www.rstudio.com/>.
- Ruiz-Primo, M. A. & Li, M. (2004). On the use of students' science notebooks as an assessment tool. *Studies in Educational Evaluation*, 30(1), 61–85.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S.-P. & Schneider, J. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: Examining students' scientific explanations and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 583–608.
- Ryan, R. S. & Koppenhofer, J. A. (2024). Prompted self-explanations improve learning in statistics but not retention. *Teaching of Psychology*, 51(4), 402–413.

- Ryoo, K. & Linn, M. C. (2014). Designing guidance for interpreting dynamic visualizations: Generating versus reading explanations. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 147–174.
- Sandoval, W. (2001). Students' uses of data as evidence in scientific explanations. In *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- Schacter, D. L. & Szpunar, K. K. (2015). Enhancing attention and memory during video-recorded lectures. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*, 1(1), 60–71.
- Schanze, S. & Girwidz, R. (2018). Lernen mit digitalen Medien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 177–192). Springer Spektrum.
- Schanze, S. & Parchmann, I. (2013). Mathematisierung im Chemieunterricht. Grundlagen und Umsetzung anhand von Basiskonzepten. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 24(134), 2–7.
- Schmidt-Thieme, B. (2014). Erklären können. Aufbau von Erklärkompetenz im Lehramtsstudium. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 1075–1078). WTM.
- Schmidt-Thieme, B. & Wagner, A. (2007). Erklärprozesse im Mathematikunterricht: Erklären als Teil des Unterrichtsprozesses. In *Beiträge zum Mathematikunterricht*. WTM.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141–156.
- Schopf, C. & Zwischenbrugger, A. (2015). Verständliche Erklärungen im Wirtschaftsunterricht: Eine Heuristik basierend auf dem Verständnis der Fachdidaktiker/innen des Wiener Lehrstuhls für Wirtschaftspädagogik. *Zeitschrift für ökonomische Bildung*, 3, 1–31.
- Schumacher, G. M. & Nash, J. G. (1991). Conceptualizing and measuring knowledge change due to writing. *Research in the Teaching of English*, 25(1), 67–96.
- Schüßler, K. (2016). *Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht: Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*. Logos.
- Schweda, E. (2012). *Jander/Blasius, Anorganische Chemie II: Quantitative Analyse & Präparate* (16. Aufl.). Hirzel.
- Schweda, E. (2016). *Jander/Blasius, Anorganische Chemie I: Theoretische Grundlagen und Qualitative Analyse* (18. Aufl.). Hirzel.

- Seidel, T., Blomberg, G. & Renkl, A. (2013). Instructional strategies for using video in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 34, 56–65. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0742051X13000565>
- Seiler, F. (2021). *Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie*. Logos.
- Sevian, H. & Gonsalves, L. (2008). Analysing how scientists explain their research: A rubric for measuring the effectiveness of scientific explanations. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1441–1467.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Signorell, A. (2024). *Package ‘DescTools’: Tools for descriptive statistics*. <https://cran.r-project.org/web/packages/DescTools/index.html>
- Slopinski, A. (2016). Selbstbestimmt motiviertes Lernen durch die Produktion von Lern- und Erklärvideos. *Medienproduktion - Online Zeitschrift für Wissenschaft und Praxis*(10), 9–13.
- Spires, H. A., Hervey, L. G., Morris, G. & Stelpflug, C. (2012). Energizing project-based inquiry: Middle-grade students read, write, and create videos. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 55(6), 483–493.
- Sterzing, F. (2022). *Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik: Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat*. Logos.
- Strähle, J. & Schweda, E. (2006). *Jander/Blasius: Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie* (16. Aufl.). Hirzel.
- Strevens, M. (2006). Scientific explanation. In D. M. Borchert (Hrsg.), *Encyclopedia of Philosophy* (S. 1–25). Macmillan Reference.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In R. Brian H. (Hrsg.), *Advances in research and theory: Volume 43. The psychology of learning and motivation* (S. 215–266). Academic Press.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59–89.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Talanquer, V. (2007). Explanations and Teleology in Chemistry Education. *International Journal of Science Education*, 29(7), 853–870.

- Tepner, M., Roeder, B. & Melle, I. (2009). Effektivität des Gruppenpuzzles im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 7–29.
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmann, H. & Wirth, J. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7–28.
- Tillmann, K.-J. (2020). Von der Lehrerbedarfsprognose zum Seiteneinstieg – bildungspolitische Anmerkungen zur gegenwärtigen Versorgungskrise. *DDS – Die Deutsche Schule*, 2020(4), 439–453.
- Tishman, S. & Perkins, D. (1997). The language of thinking. *Phi Delta Kappan*, 78(368-374).
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Treagust, D. & Harrison, A. (1999). The genesis of effective scientific explanations for the classroom. In J. Loughran (Hrsg.), *Researching teaching: Methodologies and practices for understanding pedagogy* (S. 28–43). Routledge.
- Universität Regensburg. (2017). *Modulkatalog Fachwissenschaft für Lehramt Chemie - GYMNASIUM - an der Universität Regensburg Stand: 01. Februar 2017*. https://www.uni-regensburg.de/assets/chemistry-pharmacy/chemistry-course-coordinator/Modulkataloge_aktuell/FW_Modulkatalog_Chemie_alleLehraemter_final_2023.pdf
- Universität Regensburg. (2020). *Modulkatalog für den Bachelorstudiengang Chemie an der Universität Regensburg Stand: 24. Juni 2020*. https://www.uni-regensburg.de/assets/chemistry-pharmacy/chemistry-course-coordinator/Modulkataloge_aktuell/Modulkatalog_BSc_CHEM_24JUN2020.pdf
- Vairo Nunes, R. M. (2023). *MINT-Personal an Schulen: Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege*. Logos.
- van Gog, T., Kester, L. & Paas, F. (2011). Effects of worked examples, example-problem, and problem-example pairs on novices' learning. *Contemporary Educational Psychology*, 36(3), 212–218.

- van Gog, T. & Rummel, N. (2010). Example-based learning: Integrating cognitive and social-cognitive research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22(2), 155–174.
- van Harsel, M., Hoogerheide, V., Janssen, E., Verkoeijen, P. & van Gog, T. (2022). How do higher education students regulate their learning with video modeling examples, worked examples, and practice problems? *Instructional Science*, 50(5), 703–728.
- van Vorst, H. (2013). *Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie*. Logos.
- VanLehn, K. (1996). Cognitive skill acquisition. *Annual review of psychology*, 47, 513–539.
- Vennemann, M., Eickelmann, B., Labusch, A. & Drossel, K. (2021). *ICILS 2018 #Deutschland: Dokumentation der Erhebungsinstrumente der zweiten Computer and Information Literacy Study*. Waxmann.
- Vonschallen, S., Labude, M., Schneider, C., Krüger, M. & Metzger, S. (2024). YouTube vs. Lehrmittel – Lernwirksamkeit von Erklärvideos für den Naturwissenschaftsunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 30(1).
- Wagner, A. & Wörn, C. (2011). *Erklären lernen – Mathematik verstehen: Ein Praxisbuch mit Lernangeboten*. Klett Kallmeyer.
- Wagner, S. & Priemer, B. (2023). Assessing the quality of scientific explanations with networks. *International Journal of Science Education*, 45(8), 636–660.
- Webb, N. M. & Farivar, S. (1999). Developing productive group interaction in middle school mathematics. In A. M. O'Donnell & A. King (Hrsg.), *Cognitive perspectives on peer learning* (S. 117–149). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Webb, N. M., Troper, J. D. & Fall, R. (1995). Constructive activity and learning in collaborative small groups. *Journal of Educational Psychology*, 87(3), 406–423.
- Weinbrenner, A.-L. (2024). *Ergänzung und Analyse eines Kodiermanuals zur Erfassung der Erklärqualität schriftlicher Erklärungen von Chemie-Lehramtsstudierenden* [Unveröffentlichte Examensarbeit]. Universität Regensburg.
- Weiß, C. (2019). *Basiswissen Medizinische Statistik*. Springer.
- Wellenreuther, M. (2015). *Lehren und Lernen – aber wie? Empirisch-experimentelle Forschungen zum Lehren und Lernen im Unterricht*. Schneider.

- Westermann, R., Heise, E. & Spies, K. (2018). *FB-SZ-K – Kurzfragebogen zur Erfassung der Studienzufriedenheit*.
- Wiberg, E., Wiberg, N. & Holleman, A. F. (2017). *Holleman/Wiberg Anorganische Chemie: Band 1 Grundlagen und Hauptgruppenelemente* (103. Aufl.). De Gruyter.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer.
- Wilcox, R. R. (2017). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing. Statistical modeling and decision science*. Academic Press.
- Wilhelm, S. (2008). *Wasseraufbereitung: Chemie und chemische Verfahrenstechnik*. Springer.
- Wirtz, M. A. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Hogrefe.
- Wittwer, J. & Ihme, N. (2014). Reading skill moderates the impact of semantic similarity and causal specificity on the coherence of explanations. *Discourse Processes*, 51, 143–166.
- Wittwer, J., Nückles, M. & Renkl, A. (2008). Is underestimation less detrimental than overestimation? The impact of experts' beliefs about a layperson's knowledge on learning and question asking. *Instructional Science*, 36(1), 27–52.
- Wittwer, J. & Renkl, A. (2008). Why instructional explanations often do not work: A framework for understanding the effectiveness of instructional explanations. *Educational Psychologist*, 43(1), 49–64.
- Wolf, K. D. (2015a). Bildungspotenziale von Erklärvideos und Tutorials auf YouTube: Audio-Visuelle Enzyklopädie, adressatengerechtes Bildungsfernsehen, Lehr-Lern-Strategie oder partizipative Peer Education? *Medien + Erziehung*, 59(1), 30–36.
- Wolf, K. D. (2015b). Video-Tutorials und Erklärvideos als Gegenstand, Methode und Ziel der Medien- und Filmbildung. In A. Hartung-Griemberg, T. Ballhausen, C. Trültzsch-Wijnen, A. Barberi & K. Kaiser-Müller (Hrsg.), *Mediale Impulse: Bd. 2. Filmbildung im Wandel* (S. 121–131). new academic press.
- Wolf, K. D. & Kulgemeyer, C. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 27(152), 36–41.

- Wörn, C. (2014). *Unterrichtliche Erklärsituationen: Eine empirische Studie zum Lehrerhandeln und zur Kommunikation im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I*. Kovač.
- Wright, G. H. von. (1991). *Erklären und Verstehen*. Hain.
- Zahn, C., Krauskopf, K. & Hesse, F. W. (2010). Digital video tools in the classroom: Empirical studies on constructivist learning with audio-visual media in the domain of history. In K. Gomez, L. Lyon & J. Radinsky (Hrsg.), *Learning in the disciplines* (S. 620–627). Society of the Learning Sciences.
- Zander, S., Behrens, A. & Mehlhorn, S. (2020). Erklärvideos als Format des E-Learnings. In H. M. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen* (247-258). Springer.
- Zhu, W., Wang, F., Mayer, R. E. & Liu, T. (2024). Effects of explaining a science lesson to others or to oneself: A cognitive neuroscience approach. *Learning and Instruction, 91*, 1–11.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009). Eigene Darstellung in Anlehnung an Schanze und Girwicz (2018, S. 179)	18
Abbildung 2-2: Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses nach Schnotz und Bannert (2003). Eigene Darstellung in Anlehnung an Schanze und Girwicz (2018, S. 181)	21
Abbildung 2-3: Darstellung des Erklärprozesses nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015). Eigene Darstellung in Anlehnung an Heinze (2022, S. 20)	25
Abbildung 2-4: Lernprozess mit fremderstellten Erklärvideos. Eigene Abbildung in Anlehnung an Kulgemeyer et al. (2023a, S. 235)	52
Abbildung 4-1: Ausschnitt aus einem Übungsblatt in Übungsphase I.....	74
Abbildung 4-2: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zum Thema VSEPR- Theorie zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung in Interventionsgruppen IG_VF und IG_ES	82
Abbildung 4-3: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zum Thema VSEPR- Theorie zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung in Interventionsgruppen IG_EF und IG_VS	83
Abbildung 4-4: Ablauf des Treatments in den Interventionsgruppen IG_VF und IG_EF.....	84
Abbildung 4-5: Ablauf des Treatments in den Interventionsgruppen IG_VS und IG_ES.....	86
Abbildung 4-6: Prozentuale Verteilung der gewählten Schulform der Chemie-Lehramtsstudierenden in Hauptstudie 1 und 2.....	91
Abbildung 4-7: Inhaltsbeschreibung des Moduls Allgemeine Chemie (Universität Regensburg, 2017, S. 2)	92
Abbildung 4-8: Ausschnitt aus dem Drehbuch des Video-Modeling- Examples zur VSEPR-Theorie	96
Abbildung 4-9: Ausschnitt des Erklärvideos zur VSEPR-Theorie.....	97
Abbildung 4-10: Ausschnitt des Video-Modeling-Examples zur VSEPR- Theorie	98
Abbildung 4-11: Anordnung von acht Elektronen in der Valenzschale des Zentralatoms in Abhängigkeit von der Anwesenheit von Bindungspartnern nach dem Pauli-Prinzip (Eigene Darstellung nach Gillespie, 2004, S. 299).....	101

Abbildung 4-12: Pilotstudie – Beispielaufgabe aus dem Fachwissenstest im freien Antwortformat	113
Abbildung 4-13: Hauptstudie – Beispielaufgabe aus dem Fachwissenstest im geschlossenen Antwortformat	114
Abbildung 4-14: Ausschnitt Kodiermanual zur Bewertung freier Antwortformate im Fachwissenstest	115
Abbildung 5-1: Vergleich der mittleren Punktwerte im Prä-, Post-, Follow-Up-Test – Hauptstudie	160
Abbildung 5-2: Vergleich des mittleren Lernzuwachses der Interventionsgruppen EF (Erklärvideo fremderstellt), VF (Video-Modeling-Example fremderstellt) und der Kontrollgruppe zwischen Prä-, Post-, und Follow-Up-Test – Hauptstudie	172
Abbildung 5-3: Vergleich des mittleren Lernzuwachses zwischen Prä-, Post-, und Follow-Up-Test – Thematische Darstellung – Hauptstudie (EF: Erklärvideos fremderstellt, VF: Video-Modeling-Example fremderstellt)	174
Abbildung 5-4: Vergleich des mittleren Lernzuwachses zwischen Prä- und Post-Test – Extremgruppenvergleich – Hauptstudie (SE: Interventionsgruppen schriftliche Erklärungen, LV: Interventionsgruppen Lernvideos)	178
Abbildung 5-5: Vergleich des mittleren Lernzuwachses der Interventionsgruppen zwischen Prä- und Post-Test – Hauptstudie 1 (EF: Erklärvideos fremderstellt, ES: Erklärvideo selbsterstellt, VF: Video-Modeling-Example fremderstellt, VS: Video-Modeling-Example selbsterstellt)	179
Abbildung 5-6: Vergleich des mittleren Lernzuwachses der Interventionsgruppen zwischen Prä- und Post-Test – Hauptstudie (EF: Erklärvideos fremderstellt, ES: Erklärvideo selbsterstellt, VF: Video-Modeling-Example fremderstellt, VS: Video-Modeling-Example selbsterstellt)	182
Abbildung 5-7: Analyse der mittleren Scores der Subkategorien – Themenbereich Säure-Base-Chemie	189
Abbildung 5-8: Analyse der mittleren Scores der Subkategorien – Themenbereich VSEPR-Theorie	189
Abbildung 5-9: Analyse der mittleren Scores der Subkategorien – Themenbereich Redoxchemie	190
Abbildung 11-1: Hauptstudie 1 – Ausgabe der Stichprobenplanung für fünf Gruppen.....	320

Abbildung 11-2: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 gesamt...	321
Abbildung 11-3: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 gesamt	321
Abbildung 11-4: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Kontrollgruppe	322
Abbildung 11-5: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Kontrollgruppe	322
Abbildung 11-6: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 1	322
Abbildung 11-7: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe	322
Abbildung 11-8: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 2	322
Abbildung 11-9: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 2	322
Abbildung 11-10: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 3	323
Abbildung 11-11: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 3	323
Abbildung 11-12: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 4	323
Abbildung 11-13: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 4	323
Abbildung 11-14: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 gesamt	323
Abbildung 11-15: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 gesamt	323
Abbildung 11-16: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Kontrollgruppe	324
Abbildung 11-17: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Kontrollgruppe	324
Abbildung 11-18: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 1	324
Abbildung 11-19: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 1	324
Abbildung 11-20: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 2	324

Abbildung 11-21: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 2	324
Abbildung 11-22: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie.....	325
Abbildung 11-23: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie	325
Abbildung 11-24: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 1	325
Abbildung 11-25: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 1	325
Abbildung 11-26: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 2	325
Abbildung 11-27: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 2	325
Abbildung 11-28: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 3	326
Abbildung 11-29: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 3	326
Abbildung 11-30: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 4	326
Abbildung 11-31: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 4	326
Abbildung 11-32: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Kontrollgruppe B.Sc. Bio-/Chemie	326
Abbildung 11-33: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Kontrollgruppe B.Sc. Bio-/Chemie	326
Abbildung 11-35: Prüfung auf Homoskedastizität – Multiples lineares Regressionsmodell – Forschungsfrage 1.1	329
Abbildung 11-36: Prüfung auf Homoskedastizität – Multiples lineares Regressionsmodell – Forschungsfrage 1.2	329
Abbildung 11-37: Prüfung auf Homoskedastizität – Multiples lineares Regressionsmodell – Forschungsfrage 1.3	329

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Zuordnung empirischer Qualitätskriterien in mögliche Oberkategorien.....	29
Tabelle 2-2: Qualitätskriterien zur Gestaltung lernwirksamer instruktionaler Erklärungen.....	37
Tabelle 2-3: Inhaltliche Qualitätskriterien für Erklärvideos (nach Kulgemeyer et al., 2023a, S. 229)	50
Tabelle 4-1: Übersicht zum Studiendesign in Hauptstudie 1 und 2	70
Tabelle 4-2: Strukturierung des Seminarkonzepts in Hauptstudie 1	72
Tabelle 4-3: Inhalte der Übungsphase I	74
Tabelle 4-4: Kriterien zum Erstellen von Erklärungen in Einführungsphase II...	79
Tabelle 4-5: Strukturierung des Seminarkonzepts in Hauptstudie 2	88
Tabelle 4-6: Übersicht zur Stichprobenverteilung in HS 1 und 2.....	90
Tabelle 4-7: Lernziele des Erklärvideos und Video-Modeling-Examples zum Thema VSEPR-Theorie	94
Tabelle 4-8: Molekülstrukturen in Abhängigkeit der bindenden und freien Elektronenpaare nach dem VSEPR-Modell (nach Riedel und Meyer (2019, S. 96)).....	102
Tabelle 4-9: Näherungsformeln zur Berechnung der pH-Werte	106
Tabelle 4-10: Thematische Einordnung der Items im Fachwissenstest aus der Präpilotstudie	111
Tabelle 4-11: Pilotstudie – Anzahl der Items im Fachwissenstest nach thematischer Zuordnung	112
Tabelle 4-12: Reliabilitätsstatistik in der Pilotstudie	113
Tabelle 4-13: Hauptstudie – Anzahl der Items im Fachwissenstest nach thematischer Zuordnung	115
Tabelle 4-14: Überblick zu den Schwierigkeitsindizes des Fachwissenstests ...	117
Tabelle 4-15: Reliabilitätsstatistik in der Hauptstudie	117
Tabelle 4-16: Ausschnitt des Kategoriensystems zur Kategorie „1.2 Passung in Bezug auf die Problemstellung“	121
Tabelle 4-17: Verteilung der Daten für die Reliabilitätsanalyse	123
Tabelle 4-18: Wertebereiche zur Interpretation des Krippendorff Alpha-Koeffizienten nach Krippendorff (2004a).....	124
Tabelle 4-19: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Reliabilitätsanalyse I	124

Tabelle 4-20: Kategoriensystem zur Analyse schriftlicher Erklärungen.....	126
Tabelle 4-21: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Gesamtskala der Reliabilitätsanalyse II	127
Tabelle 4-22: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Unterkategorien der Reliabilitätsanalyse II	127
Tabelle 4-23: Übersicht der verwendeten Erhebungsinstrumente	130
Tabelle 4-24: Erhobene demografische Angaben der Studierenden	131
Tabelle 4-25: Übersicht zur Umformulierung der Items aus dem Fragebogen zur Selbsteinschätzung nach Freyer (2013)	132
Tabelle 4-26: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala Selbsteinschätzung...	133
Tabelle 4-27: Auszug der Items bezüglich der Selbstwirksamkeitserwartung im Studium.....	133
Tabelle 4-28: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala Selbstwirksamkeitserwartung.....	134
Tabelle 4-29: Auszug der Items bezüglich der Studienzufriedenheit.....	134
Tabelle 4-30: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala Studienzufriedenheit	135
Tabelle 4-31: Auszug der Items bezüglich der aktuellen Motivation hinsichtlich der Vorlesungen	135
Tabelle 4-32: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala aktuelle Motivation..	136
Tabelle 4-33: Übersicht zur Umformulierung ausgewählter Items aus dem Fragebogen zum situationalen Interesse nach van Vorst (2013, S. 187–188)....	136
Tabelle 4-34: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skala situationelles Interesse.....	137
Tabelle 4-35: Auszug der Items bezüglich der lernbezogenen Mediennutzung	138
Tabelle 4-36: Reliabilitätsstatistik hinsichtlich der Skalen allgemeine und lernbezogene Mediennutzung.....	138
Tabelle 4-37: Klassifikation der Effektstärke d nach Cohen (1988)	140
Tabelle 4-38: Klassifikation der Effektstärke r nach Cohen (1988).....	140
Tabelle 4-39: Klassifikation der Effektstärke η^2 nach Cohen (1988)	141
Tabelle 4-40: Legende zu den Modellgleichungen des LMMs	143
Tabelle 5-1: Stichprobenbeschreibung Präpilotstudie	150
Tabelle 5-2: Deskriptive Statistik – Aktuelle Motivation – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	150
Tabelle 5-3: Interferenzstatistik – Aktuelle Motivation – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	151

Tabelle 5-4: Interferenzstatistik – t-Test für unabhängige Stichproben – Aktuelle Motivation – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	151
Tabelle 5-5: Deskriptive Statistik – Selbsteinschätzung – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	152
Tabelle 5-6: Interferenzstatistik – Selbsteinschätzung – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	152
Tabelle 5-7: Interferenzstatistik – t-Test für unabhängige Stichproben – Selbsteinschätzung – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	153
Tabelle 5-8: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	153
Tabelle 5-9: Interferenzstatistik – Fachwissenstest – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	154
Tabelle 5-10: Interferenzstatistik – t-Test für unabhängige Stichproben – Fachwissenstest – Präpilotstudie (Lehramtsstudierende vs. B.Sc.-Studierende)	154
Tabelle 5-11: Stichprobenbeschreibung Pilotstudie	155
Tabelle 5-12: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Pilotstudie	155
Tabelle 5-13: Interferenzstatistik – Fachwissenstest – Pilotstudie	156
Tabelle 5-14: Deskriptive Statistik – Evaluation bezüglich Schwierigkeiten – Pilotstudie.....	156
Tabelle 5-15: Deskriptive Statistik – Evaluation bezüglich fachlichen Anspruchs – Pilotstudie	157
Tabelle 5-16: Überblick der Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie.....	158
Tabelle 5-17: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Hauptstudie.....	159
Tabelle 5-18: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Kontrollgruppe (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie	162
Tabelle 5-19: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit IG_SE (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie	162
Tabelle 5-20: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Kontrollgruppe (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie – thematische Analyse	163
Tabelle 5-21: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit IG_LV (uM) als Referenzgruppe – Hauptstudie – Extremgruppenanalyse.	164
Tabelle 5-22: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit IG_LV (oM) als Referenzgruppe – Hauptstudie – Extremgruppenanalyse.	165

Tabelle 5-23: Deskriptive Statistik – Kontrollgruppe und Interventionsgruppe IG_LV – Hauptstudie.....	166
Tabelle 5-24: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest thematisch unterteilt – Hauptstudie Gruppen KG und IG_LV	167
Tabelle 5-25: t-Test für unabhängige Stichproben zwischen den Gruppen der Hauptstudie 1 und Hauptstudie 2 – Fachwissenstest Prä-Post	168
Tabelle 5-26: Deskriptive Statistik – Interventionsgruppe IG_SE – Hauptstudie	169
Tabelle 5-27: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest thematisch unterteilt – Hauptstudie Gruppen KG und IG_SE	170
Tabelle 5-28: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_VF und IG_EF	171
Tabelle 5-29: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest thematisch unterteilt – Hauptstudie Gruppen KG, IG_VF und IG_EF	173
Tabelle 5-30: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF (MZP 1) als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_VF und IG_EF – thematische Analyse	175
Tabelle 5-31: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Hauptstudie – Bachelor of Science-Studierende.....	176
Tabelle 5-32: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Gruppe B.Sc. Bio-/Chemie als Referenzgruppe – Hauptstudie	176
Tabelle 5-33: Deskriptive Statistik – Fachwissenstest – Hauptstudie – Mediansplit der Gruppen KG, IG_SE und IG_LV	178
Tabelle 5-34: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Hauptstudie 1.....	181
Tabelle 5-35: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Hauptstudie.....	182
Tabelle 5-36: Deskriptive Statistik – Selbstwirksamkeitserwartung – Hauptstudie	183
Tabelle 5-37: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Selbstwirksamkeitserwartung mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie	184
Tabelle 5-38: Deskriptive Statistik – Skalen Kovariablen – Hauptstudie	185
Tabelle 5-39: Korrelation der Skalen mit residualen Lernzuwächsen – Hauptstudie	186
Tabelle 5-40: Deskriptive Statistik – Aktuelle Motivation – Hauptstudie	186

Tabelle 5-41: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen unter Berücksichtigung der Kovariable aktuelle Motivation mit der Interventionsgruppe IG_SE als Referenzgruppe – Hauptstudie	187
Tabelle 5-42: Deskriptive Statistik – Scores Kodiermanual – Hauptstudie	188
Tabelle 5-43: t-Test für unabhängige Stichproben – Gesamt-Score Kodiermanual.....	190
Tabelle 5-44: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Gesamt-Score mit dem Themenbereich Säure-Base-Chemie als Referenzgruppe – Hauptstudie	191
Tabelle 5-45: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Gesamt-Score mit dem Themenbereich VSEPR-Theorie als Referenzgruppe – Hauptstudie ..	191
Tabelle 5-46: LM – Untersuchung der Wirkung/Einfluss UV Prä-Test auf die AV Erklärkompetenz	193
Tabelle 5-47: Inter-Koder-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Gesamtskala der Reliabilitätsanalyse II	193
Tabelle 5-48: Inter-Koder-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Gesamtskala der Reliabilitätsanalyse III.....	194
Tabelle 5-49: Pearson-Produkt-Moment-Korrelationsanalysen zwischen den Gesamt-Scores der Themen VSEPR-Theorie, Säure-Base-Chemie und Redoxchemie.....	195
Tabelle 11-1: Anmerkungen zu technischen, fachlichen und didaktischen Schwierigkeiten.....	310
Tabelle 11-2: Anmerkungen zum Video-Modeling-Example	310
Tabelle 11-3: Anmerkungen zum Fachwissenstest.....	311
Tabelle 11-4: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 1 – Prozentuale Werte	312
Tabelle 11-5: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 1 – Absolute Werte ..	313
Tabelle 11-6: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 2 – Prozentual.....	314
Tabelle 11-7: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 2 – Absolute Werte ..	315
Tabelle 11-8: Geschlechterverteilung in den Gruppen der Hauptstudie	315
Tabelle 11-9: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich Geschlechterverteilung.....	316
Tabelle 11-10: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich gewählter Schulform	316
Tabelle 11-11: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des aktuellen Semesters.....	316
Tabelle 11-12: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des Landes, in dem die Hochschulreife erlangt wurde.....	317
Tabelle 11-13: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des Bundeslandes, in dem die Hochschulreife erlangt wurde.....	317

Tabelle 11-14: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Schulart, bei dem die Hochschulreife erlangt wurde.....	317
Tabelle 11-15: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Wahl von Chemie in der Oberstufe.....	317
Tabelle 11-16: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Abiturprüfung in Chemie	318
Tabelle 11-17: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Abiturprüfung.....	318
Tabelle 11-18: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich einer vorangegangenen Ausbildung	318
Tabelle 11-19: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich eines vorangegangenen Studiums.....	318
Tabelle 11-20: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des Wunschstudiums	319
Tabelle 11-21: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 – Fachwissenstest	320
Tabelle 11-22: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 2 – Fachwissenstest	320
Tabelle 11-23: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Fachwissenstest.....	321
Tabelle 11-24: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Kovariablen.....	327
Tabelle 11-25: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Aktuelle Motivation.....	327
Tabelle 11-26: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Gesamt-Score-Werte Kodiermanual	327
Tabelle 11-27: Schwierigkeitsindizes des Fachwissenstests in der Hauptstudie	328
Tabelle 11-28: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest – Rohdaten – Hauptstudie	330
Tabelle 11-29: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest – Rohdaten – Hauptstudie	330
Tabelle 11-30: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest – akzeptable Trennschärfen – Hauptstudie.....	331
Tabelle 11-31: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest – akzeptable Trennschärfen – Hauptstudie.....	332
Tabelle 11-32: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest Rohdaten – VSEPR-Theorie – Hauptstudie.....	333
Tabelle 11-33: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest Rohdaten – VSEPR-Theorie – Hauptstudie.....	333
Tabelle 11-34: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest Rohdaten – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie	334

Tabelle 11-35: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest Rohdaten – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie	334
Tabelle 11-36: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest mit akzeptabler Trennschärfe – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie	335
Tabelle 11-37: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest mit akzeptabler Trennschärfe – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie	335
Tabelle 11-38: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest Rohdaten – Redoxchemie – Hauptstudie	336
Tabelle 11-39: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest Rohdaten – Redoxchemie – Hauptstudie	336
Tabelle 11-40: Reliabilitätsanalyse zur Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-Test – Hauptstudie	337
Tabelle 11-41: Item-Skala-Statistik zur Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-Test– Hauptstudie	337
Tabelle 11-42: Reliabilitätsanalyse zur Selbstwirksamkeitserwartung im Post-Test – Hauptstudie	337
Tabelle 11-43: Item-Skala-Statistik zur Selbstwirksamkeitserwartung im Post-Test - Hauptstudie	338
Tabelle 11-44: Reliabilitätsanalyse zur Selbsteinschätzung – Hauptstudie	338
Tabelle 11-45: Item-Skala-Statistik zur Selbsteinschätzung – Hauptstudie.....	338
Tabelle 11-46: Reliabilitätsanalyse zur allgemeinen Mediennutzung – Hauptstudie	339
Tabelle 11-47: Item-Skala-Statistik zur allgemeinen Mediennutzung – Hauptstudie	339
Tabelle 11-48: Reliabilitätsanalyse zur lernbezogenen Mediennutzung – Hauptstudie	340
Tabelle 11-49: Item-Skala-Statistik zur lernbezogenen Mediennutzung – Hauptstudie	340
Tabelle 11-50: Reliabilitätsanalyse zur aktuellen Motivation im Prä-Test – Hauptstudie	341
Tabelle 11-51: Item-Skala-Statistik zur aktuellen Motivation im Prä-Test – Hauptstudie	341
Tabelle 11-52: Reliabilitätsanalyse zur aktuellen Motivation im Post-Test – Hauptstudie	342
Tabelle 11-53: Item-Skala-Statistik zur aktuellen Motivation im Post-Test – Hauptstudie	342
Tabelle 11-54: Reliabilitätsanalyse zur Studienzufriedenheit – Hauptstudie.....	343

Tabelle 11-55: Item-Skala-Statistik zur Studienzufriedenheit – Hauptstudie....	343
Tabelle 11-56: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – Gesamt – Hauptstudie	343
Tabelle 11-57: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – Gesamt – Hauptstudie	344
Tabelle 11-58: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – Redoxchemie – Hauptstudie	345
Tabelle 11-59: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – Redoxchemie – Hauptstudie	345
Tabelle 11-60: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – VSEPR- Theorie – Hauptstudie.....	346
Tabelle 11-61: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – VSEPR- Theorie – Hauptstudie.....	346
Tabelle 11-62: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – Säure- Base-Chemie – Hauptstudie	347
Tabelle 11-63: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – Säure- Base-Chemie – Hauptstudie	347
Tabelle 11-64: t-Test für unabhängige Stichproben der Kontrollgruppe zwischen Hauptstudie 1 und 2	348
Tabelle 11-65: t-Test für unabhängige Stichproben der Interventionsgruppe IG_VF zwischen Hauptstudie 1 und 2	348
Tabelle 11-66: t-Test für unabhängige Stichproben der Interventionsgruppe IG_EF zwischen Hauptstudie 1 und 2	349
Tabelle 11-67: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur VSEPR-Theorie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV	349
Tabelle 11-68: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV	350
Tabelle 11-69: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV – Kovariate Prä-Test	350
Tabelle 11-70: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Redoxchemie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV.....	351
Tabelle 11-71: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2.....	351

Tabelle 11-72: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur VSEPR-Theorie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2.....	352
Tabelle 11-73: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2.....	352
Tabelle 11-74: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2 – Kovariate Prä-Test.....	353
Tabelle 11-75: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Redoxchemie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2.....	353
Tabelle 11-76: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur VSEPR-Theorie mit Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2.....	354
Tabelle 11-77: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Gruppe B.Sc. Bio/Chemie als Referenzgruppe – Hauptstudie – Vorwissensunterschiede	354
Tabelle 11-78: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe – Hauptstudie.....	355
Tabelle 11-79: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Reliabilitätsanalyse III.....	355
Tabelle 11-80: Reliabilitätsanalyse zum Kodiermanual – Scores – Hauptstudie	356
Tabelle 11-81: Item-Skala-Statistik zum Kodiermanual – Scores – Hauptstudie	356

11 Anhang mit allen Materialien

11.1 Inhalte der Seminare

Präsentationsfolien zum Erstellen schriftlicher Erklärungen


Die Inhalte der Präsentationsfolien der IG_EF entsprechend weitgehend denen der IG_VF und werden auf Anfrage von der Autorin zur Verfügung gestellt.

**Lernstrategien zum Lernen mit Video-Modeling-
Examples
Gruppe 1**

Sevan Khagy




Universität Regensburg




Universität Regensburg

Selbstreguliertes Lernen




- ✓ Aktive Rolle im eigenen Lernprozess
- ✓ Eigenständiges Aneignen von Wissen
- ✓ Verantwortung für den eigenen Lernerfolg in hohem Maße

Sevan Khagy | 2



Universität Regensburg

Selbstreguliertes Lernen



- ✓ Erfolgreiche Lernprozesse können über selbstreguliertes Lernen herbeigeführt werden (Messner et al., 2009; Richardson et al., 2012)

Sevan Khagy | 3



Universität Regensburg


Selbstreguliertes Lernen

→ Einsatz Lernstrategien

Kognitive Lernstrategien: **Lernvideos**

- ✓ Integration der Lernvideos in den Lernprozess essenziell für den Lernerfolg (Kulgemeyer, 2018a)
- ✓ Anwendung durch vertiefende Übungsaufgaben (Kulgemeyer, 2018a; Kulgemeyer, 2018c; Findeisen, 2019)

Sevan Khagy | 4



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:

- ✓ Redoxchemie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ VSEPR-Theorie

2-wöchiger Rhythmus


1. Woche

↻
3x

2. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen

Video-Modeling-Example:


- ✓ wird auf L-DUR freigeschaltet

Schriftliche Erklärung:

- ✓ Aufgaben/Fragen, die in der schriftlichen Erklärung beantwortet werden müssen
- ✓ Mindestens eine Seite verfassen – **Keine Stichpunkte!**
- ✓ Über Word/Tablet/lesbares Foto auf L-DUR hochladen

Sivan Khagy | 5

Sivan Khagy | 6



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:

- ✓ Redoxchemie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ VSEPR-Theorie

2-wöchiger Rhythmus


1. Woche

↻
3x

2. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen

2. Woche

in Präsenz

Übungsaufgaben bearbeiten

Sivan Khagy | 5

Sivan Khagy | 5



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:

- ✓ Redoxchemie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ VSEPR-Theorie

2-wöchiger Rhythmus

1. Woche

↻
3x

2. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen

Video-Modeling-Example:


- ✓ wird auf L-DUR freigeschaltet

Schriftliche Erklärung:

- ✓ Aufgaben/Fragen, die in der schriftlichen Erklärung beantwortet werden müssen
- ✓ Mindestens eine Seite verfassen – **Keine Stichpunkte!**
- ✓ Über Word/Tablet/lesbares Foto auf L-DUR hochladen

Sivan Khagy | 5

Sivan Khagy | 6



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:

- ✓ Redoxchemie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ VSEPR-Theorie

2-wöchiger Rhythmus


1. Woche

↻
3x

2. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen

2. Woche

in Präsenz

Übungsaufgaben bearbeiten

Sivan Khagy | 5

Sivan Khagy | 7



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:

- ✓ Redoxchemie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ VSEPR-Theorie

2-wöchiger Rhythmus

1. Woche

↻
3x

2. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen



Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche

nicht in Präsenz

Video-Modeling-Example ansehen und schriftliche Erklärung erstellen

2. Woche

in Präsenz

Übungsaufgaben bearbeiten

Sivan Khagy | 5

Sivan Khagy | 7



Video-Modeling-Example

Wie gehe ich konkret bei einer Problemstellung vor?
 Videografisches Aufzeigen und Erklären eines Lösungsweges Schritt für Schritt

Beispiel-Video zum Thema Elektronenkonfiguration



Universität Regensburg

Lernstrategien zum Lernen mit Video-Modeling-Examples

 **Vor dem Ansehen**

- ✓ Lies dir die Überschrift durch
- ✓ Überleg dir, was du schon zu dem Thema weißt

 **Während dem Ansehen**

- ✓ Pausiere das Video bei Bedarf
- ✓ Wiederhole Passagen, die du nicht verstehst
- ✓ Wiederhole das ganze Video, wenn nötig
- ✓ **Notiere** dir Informationen, die dir wichtig erscheinen

 **Nach dem Ansehen**

- ✓ Erstelle eine schriftliche Erklärung, um die Inhalte zu wiederholen
- ✓ Löse **Übungsaufgaben**, um die Inhalte zu vertiefen





Universität Regensburg

Schriftliche Erklärungen erstellen



Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen



Universität Regensburg

 **Strukturiertheit der Erkläreinheit**

- I. Hinführung
 - ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren
- II. Erklärung
- III. Ergebnissicherung



Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen



Universität Regensburg

 **Strukturiertheit der Erkläreinheit**

- I. Hinführung
 - ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren
- II. Erklärung
- III. Ergebnissicherung



Universität Regensburg



Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Strukturiertheit der Erkläreinheit

- I. Hinführung
 - ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren
- II. Erklärung
 - ✓ Ziele der Erklärung werden erarbeitet
 - ✓ Neue Inhalte werden erklärt
 - ✓ Gesamte Erkläreinheit folgt einem roten Faden (keine Gedankensprünge)
 - ✓ Erklärung ist Schritt für Schritt aufgebaut
 - ✓ Erklärung beinhaltet nicht zu viele Einzelheiten
- III. Ergebnissicherung
 - ✓ Rückbezug auf den Einstieg
 - ✓ Zusammenfassung am Ende mit den wichtigsten Fakten



Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Strukturiertheit der Erkläreinheit

- I. Hinführung
 - ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren
- II. Erklärung
 - ✓ Ziele der Erklärung werden erarbeitet
 - ✓ Neue Inhalte werden erklärt
 - ✓ Gesamte Erkläreinheit folgt einem roten Faden (keine Gedankensprünge)
 - ✓ Erklärung ist Schritt für Schritt aufgebaut
 - ✓ Erklärung beinhaltet nicht zu viele Einzelheiten
- III. Ergebnissicherung



Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Adressatenorientierung

- ✓ Peer-Erklärung: Erklärung an Adressaten richten, die das Vorwissen eines Chemiestudierenden im ersten Semester (Kommilitonen) haben
- ✓ Erklärung angemessen an den Wissensstand der Adressaten anpassen
- ✓ Bereits vorhandenes Wissen der Adressaten mit neuem Wissen vernetzen



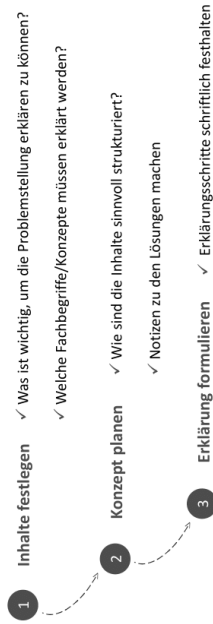
Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Sprachliche und fachliche Kriterien

- ✓ Fachbegriffe zum Erklären verwenden
- ✓ Auf fachlich korrekte Sprache achten
- ✓ Neue Fachbegriffe erklären
- ✓ Neue Konzepte, Regeln und Prinzipien erarbeiten und erklären



Schritt für Schritt zur Erklärung



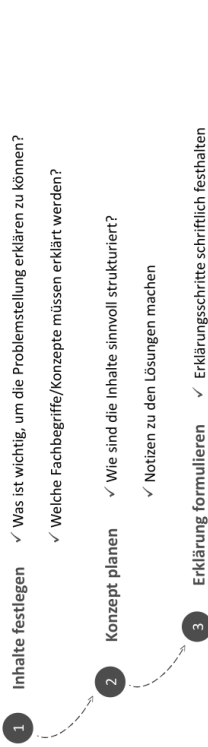
Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen. Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen. Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...



Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung



Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen. Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen. Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...



Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen. Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen. Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...



Universität Regensburg

Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen.

Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. **Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen.** Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem **Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen**, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...

Sven Kragy | 21



Universität Regensburg

Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen.

Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. **Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen.** Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem **Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen**, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...

Sven Kragy | 22



Universität Regensburg

Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen.

Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. **Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen.** Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem **Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen**, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...

Sven Kragy | 23



Universität Regensburg

Ausschnitt einer schriftlichen Erklärung

...Um jetzt die Elektronenverteilung eines Sauerstoff-Atoms in einem Orbital-Diagramm anzugeben, musst du zunächst wissen, wie viele Elektronen ein Sauerstoffatom im Grundzustand besitzt. Du weißt, dass sich das Sauerstoff-Element im Periodensystem in der 6. Hauptgruppe und der zweiten Periode befindet. Daher besitzt ein Sauerstoffatom 8 Elektronen.

Zeichne ein Orbitaldiagramm, um darin die Elektronenverteilung in den Orbitalen darzustellen.

Das erste Orbital, das eingezeichnet wird, ist das s-Orbital der ersten Schale, also das 1s-Orbital. **Denn das Aufbau-Prinzip besagt, dass die Elektronen das energetisch am tiefsten liegende, noch verfügbare Orbital besetzen.** Das 1s-Orbital ist das energieärmste und wird daher vollständig besetzt, bevor das nächste Orbital befüllt wird. Und nach dem **Pauli-Prinzip, das besagt, dass zwei Elektronen nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen**, besitzen die Elektronen antiparallelen Spin. Nach dem Pauli-Prinzip kann jedes Orbital maximal von 2 Elektronen besetzt werden. Das 1s-Orbital ist somit vollständig besetzt...

Sven Kragy | 24



Checkliste

zum Erstellen einer guten Erklärung



Strukturiertheit

- ✓ Das Ziel der Erklärung ist klar.
- ✓ Die neuen Inhalte sind aufeinander aufbauend und die Erklärung folgt einem roten Faden
- ✓ Die Erklärung beschränkt sich auf die wesentlichen Informationen
- ✓ Es wird eine Zusammenfassung geboten, in dem das Wichtigste wiederholt wird



Fachliche & Sprachliche Kriterien

- ✓ Es wird auf fachliche Korrektheit geachtet
- ✓ Es werden passende Fachbegriffe verwendet und neue Fachbegriffe & Konzepte werden erklärt



Adressatenorientierung

- ✓ Die Erklärung ist an Peers gerichtet (Sie soll für deine Kommilitonen verständlich sein)
- ✓ Es wird das Vorwissen der Adressaten berücksichtigt
- ✓ Bereits vorhandenes Wissen der Adressaten wird mit dem neuen Wissen verknüpft



Abgabe der schriftlichen Erklärung

- ✓ **Deadline** eine Woche nach Freischalten des Lernvideos
Beispiel: Freischalten des 1. Lernvideos am 05.12.23
Abgabe der schriftlichen Erklärung bis spätestens 12.12.23
- ✓ Abgabe auf der **L-DUR-Plattform**
- ✓ Abgabe nur als **Word- oder PDF-Dokument**
- ✓ **Titel** der Abgabe bitte folgendermaßen formulieren:
Pseudonym_Thema
Beispiel: HELJUE02_Redox

Aufbau Pseudonym

Ersten drei Buchstaben des Vornamens deiner Mutter (Bsp.: Helena)	Ersten drei Buchstaben des Vornamens deines Vaters (Bsp.: Jürgen)	Dein eigener Geburtsmonat (Bsp.: Februar)
HEL	JUE	02

Präsentationsfolien zum Erstellen von Lernvideos


Die Inhalte der Präsentationsfolien der IG_ES entsprechend weitgehend denen der IG_VS und werden auf Anfrage von der Autorin zur Verfügung gestellt.

Lernstrategien zum Lernen mit Video-Modeling-Examples
 Gruppe 3

Sevan Khagy




Universität Regensburg




Universität Regensburg

Selbstreguliertes Lernen




- ✓ Aktive Rolle im eigenen Lernprozess
- ✓ Eigenständiges Aneignen von Wissen
- ✓ Verantwortung für den eigenen Lernerfolg in hohem Maße

Sevan Khagy | 2




Universität Regensburg

Selbstreguliertes Lernen



- ✓ Erfolgreiche Lernprozesse können über selbstreguliertes Lernen herbeigeführt werden (Messner et al., 2009; Richardson et al., 2012)


Sevan Khagy | 3



Universität Regensburg

Selbstreguliertes Lernen

→ Einsatz Lernstrategien



Kognitive Lernstrategien: Lernvideos

- ✓ Integration der Lernvideos in den Lernprozess essenziell für den Lernerfolg (Kuligemeyer, 2018a)
- ✓ Anwendung durch vertiefende Übungsaufgaben (Kuligemeyer, 2018a; Kuligemeyer, 2018c; Findelsen, 2019)

Sevan Khagy | 4

UR Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche
in Präsenz
Aufgaben bearbeiten und Videoskript erstellen

2. Woche
nicht in Präsenz
Lernvideo erstellen

Aufgaben:

- ✓ Übungsaufgaben, die im Lernvideo vorgestellt werden, in Gruppenarbeit lösen
- ✓ Lernvideo vorbereiten: Videoskript mit den bearbeiteten Aufgaben erstellen
- ✓ Präsentation für Lernvideo erstellen

Sein Kitzig | 4

UR Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:

- ✓ VSEPR-Theorie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ Redox-Chemie

2-wöchiger Rhythmus

1. Woche
in Präsenz
Aufgaben bearbeiten und Videoskript erstellen

2. Woche
nicht in Präsenz
Lernvideo erstellen

Sein Kitzig | 5

UR Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

1. Woche
in Präsenz
Aufgaben bearbeiten und Videoskript erstellen

2. Woche
nicht in Präsenz
Lernvideo erstellen

Video-Modeling-Example

- ✓ Lernvideo in Gruppenarbeit erstellen
- ✓ Lernvideo auf GRIPS laden

Sein Kitzig | 8

UR Universität Regensburg

Einsatz von Lernvideos im Seminar

Themen:


- ✓ VSEPR-Theorie
- ✓ Säure-Base-Chemie
- ✓ Redox-Chemie

2-wöchiger Rhythmus


1. Woche
in Präsenz
Aufgaben bearbeiten und Videoskript erstellen

2. Woche
nicht in Präsenz
Lernvideo erstellen

Sein Kitzig | 7

 Universität Regensburg

Erklärungen erstellen



Seiten 10/11 | 10

 Universität Regensburg


Video-Modeling-Example

Wie gehe ich konkret bei einer Problemstellung vor?
Videografisches Aufzeigen und Erklären eines Lösungsweges Schritt für Schritt




Beispiel-Video zum Thema Elektronenkonfiguration

Seiten 9/10 | 9


 Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen


 **Strukturiertheit der Erkläreinheit**

- I. Hinführung
- ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren
- II. Erklärung
- III. Ergebnisicherung

Seiten 12/13 | 12


 Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

 **Strukturiertheit der Erkläreinheit**


- I. Hinführung
- II. Erklärung
- III. Ergebnisicherung

Seiten 11/12 | 11



Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen



Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Strukturiertheit der Erkläreinheit

I. Hinführung

- ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren


II. Erklärung

- ✓ Ziele der Erklärung werden erarbeitet
- ✓ Neue Inhalte werden erklärt
- ✓ Gesamte Erkläreinheit folgt einem roten Faden (keine Gedankensprünge)
- ✓ Erklärung ist Schritt für Schritt aufgebaut
- ✓ Erklärung beinhaltet nicht zu viele Einzelheiten
- ✓ Visualisierungen sind passend eingebettet

III. Ergebnisicherung

- ✓ Rückbezug auf den Einstieg
- ✓ Zusammenfassung am Ende mit den wichtigsten Fakten

Seiten 13/14



Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Strukturiertheit der Erkläreinheit

I. Hinführung

- ✓ Einstieg in das Thema: Problemstellung oder Ziele thematisieren


II. Erklärung

- ✓ Ziele der Erklärung werden erarbeitet
- ✓ Neue Inhalte werden erklärt
- ✓ Gesamte Erkläreinheit folgt einem roten Faden (keine Gedankensprünge)
- ✓ Erklärung ist Schritt für Schritt aufgebaut
- ✓ Erklärung beinhaltet nicht zu viele Einzelheiten
- ✓ Visualisierungen sind passend eingebettet

III. Ergebnisicherung

- ✓ Rückbezug auf den Einstieg
- ✓ Zusammenfassung am Ende mit den wichtigsten Fakten

Seiten 13/14




Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Adressatenorientierung

- ✓ Peer-Erklärung: Erklärung an Adressaten richten, die das Vorwissen eines Chemiestudierenden im ersten Semester (Kommilitonen) haben
- ✓ Erklärung angemessen an den Wissensstand der Adressaten anpassen
- ✓ Bereits vorhandenes Wissen der Adressaten mit neuem Wissen vernetzen

Seiten 15/16



Universität Regensburg

Kriterien zum Erstellen von Erklärungen

Sprachliche und fachliche Kriterien

- ✓ Fachbegriffe zum Erklären verwenden
- ✓ Auf fachlich korrekte Sprache achten
- ✓ Neue Fachbegriffe erklären
- ✓ Neue Konzepte, Regeln und Prinzipien erarbeiten und erklären

Seiten 15/16

UR Universität Regensburg
Kriterien zum Erstellen von Lernvideos

Visuelle Gestaltung

- ✓ Texte in Kombination mit Bildern sind lernerwirksamer als nur die Darstellung von Texten (Multimedialitätsprinzip)
- ✓ Unnötige bildliche Elemente, die nur schmückend sind, werden vermieden (Kohärenzprinzip)
- ✓ Wichtige Informationen visuell hervorheben (Text farblich kennzeichnen, Rahmen um die zentralen Informationen, Pfeile einsetzen, etc.) (Signalisierungsprinzip)
- ✓ Bildliche Elemente erklären während es gezeigt wird (Kontiguitätsprinzip, Modalitätsprinzip)
- ✓ Bildliche Elemente müssen inhaltlich mit dem verbalen Text übereinstimmen (Kohärenzprinzip)
- ✓ Gesprochenen und geschriebenen Text nicht gleichzeitig präsentieren, während Abbildungen gezeigt werden (Redundanzprinzip)
- ✓ Die Dauer des Erklärvideos liegt zwischen 5 und 6 Minuten

Seitenlänge | 18

UR Universität Regensburg
Kriterien zum Erstellen von Video-Modeling-Examples

Sprachliche Gestaltung

- ✓ Erklärungen aus der Ich-Perspektive formulieren („Ich notiere mir die Formel zur Berechnung der Stoffmenge.“)
- ✓ Schrittweise erklären, wie man vorgeht, um Aufgabe zu lösen („Ich stelle die Formel zur Berechnung der Stoffmenge um und löse dann nach der Masse auf.“)
- ✓ Alle Regeln/Prinzipien, die wichtig zum Lösen der Aufgabe sind, direkt an den Lösungsschritten erklären
- ✓ Unterstützung in der Erklärung über Modelle, Beispiele oder Analogien bieten
- ✓ Wichtiges sprachlich betonen

Seitenlänge | 17

UR Universität Regensburg
Checkliste zum Erstellen einer guten Erklärung

- | | | |
|--|---|---|
| <p>Strukturiertheit</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Das Ziel der Erklärung ist klar. ✓ Die neuen Inhalte sind aufeinander aufbauend und die Erklärung folgt einem roten Faden ✓ Die Erklärung beschränkt sich auf die wesentlichen Informationen ✓ Es wird eine Zusammenfassung geboten, in dem das Wichtigste wiederholt wird | <p>Fachliche & Sprachliche Kriterien</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Es wird auf fachliche Korrektheit geachtet ✓ Es werden passende Fachbegriffe verwendet und neue Fachbegriffe & Konzepte werden erklärt | <p>Adressatenorientierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Erklärung ist an Peers gerichtet (sie soll für deine Kommilitonen verständlich sein) ✓ Es wird das Vorwissen der Adressaten berücksichtigt ✓ Bereits vorhandenes Wissen der Adressaten wird mit dem neuen Wissen verknüpft |
|--|---|---|

Seitenlänge | 20

UR Universität Regensburg
Schritt für Schritt zum Video



- 1** Inhalte festlegen
 - ✓ Was ist wichtig, um die Problemstellung erklären zu können?
 - ✓ Welche Fachbegriffe/Konzepte müssen erklärt werden?
- 2** Konzept planen
 - ✓ Wie sind die Inhalte sinnvoll strukturiert?
 - ✓ Notizen zu den Lösungen machen
- 3** Erklärung formulieren
 - ✓ PowerPoint-Präsentation und Grafiken gestalten
 - ✓ Ton: keine Hintergrundgeräusche, angemessene Lautstärke

Seitenlänge | 19

UR
Universität Regensburg

Checkliste

zum Erstellen eines Video-Modeling-Examples

- | | |
|--|---|
|  Sprachliche Gestaltung |  Visuelle Gestaltung |
| <ul style="list-style-type: none">✓ Die Erklärungen sind aus der Ich-Perspektive formuliert.✓ Das Vorgehen zur Aufgabenlösung wird schrittweise erklärt.✓ Alle Regeln werden anhand der Aufgabe erklärt.✓ Es wird eine klare und verständliche Sprache verwendet.✓ Die wichtigsten Informationen werden sprachlich betont. | <ul style="list-style-type: none">✓ Unnötige Elemente werden vermieden.✓ Wichtige Informationen werden visuell hervorgehoben.✓ Bildliche Elemente werden passend eingesetzt.✓ Bildliche Elemente sind passend zu der Erklärung gestaltet und stimmen inhaltlich überein.✓ Die Dauer des Video-Modeling-Examples liegt zwischen 5 und 6 Minuten. |

Arbeitsblätter zum Erstellen der schriftlichen Erklärungen der Interventionsgruppe 1

Die Inhalte der Arbeitsblätter zum Erstellen der Erklärvideos der Interventionsgruppe 4 (IG_ES) sind identisch zu den Arbeitsblättern der Interventionsgruppe 1 (IG_VF). Diese werden auf Anfrage von der Autorin zur Verfügung gestellt.



Universität Regensburg

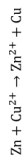
Erweiterungsseminar
Analytische & Anorganische Chemie**Redoxchemie: Aufgaben zum Erstellen der schriftlichen Erklärung**Erstelle eine schriftliche Erklärung zum Thema *Redoxchemie*.

Beantworte dabei die folgenden Fragen und biete die Antworten in deine Ausarbeitung ein!

Tipp: Nimm dir die Checkliste zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung zur Hilfe.
Beachte in ganzen Sätzen zu schreiben!

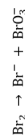
1. Erkläre die Bedeutung von Oxidationszahlen. Bestimme anschließend die Oxidationszahlen aller folgenden Atome und begründe dabei dein Vorgehen.
 - ✓ Na⁺
 - ✓ K₂CrO₄
 - ✓ MgCl₂
 - ✓ H₂PO₄⁻
 - ✓ SF₆
2. Beschreibe die Reaktion auf Teilchenebene, die bei Redoxreaktionen stattfindet und erkläre dabei die Vorgänge der Reduktion und Oxidation.

3. Erkläre die Begriffe Reduktionsmittel und Oxidationsmittel und weise sie in der folgenden Redoxreaktion den Reaktionspartnern begründet zu:



4. Erkläre das Vorgehen zum Aufstellen von Redoxgleichungen. Wende dieses Vorgehen anschließend an, um folgende Aufgabe Schritt für Schritt zu lösen:

In basischer Lösung reagiert Brom zu Bromid und Bromat.



Gleiche am Ende die Reaktionsgleichung der Redoxreaktion aus.

Quellen:
Mortimer, C. E. & Müller, U. (2020). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie* (13. Aufl.). Stuttgart, München: Thieme.
Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2019). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (12. Aufl.). Berlin, Boston: De Gruyter.



Universität Regensburg

Erweiterungsseminar
Analytische & Anorganische Chemie**VSEPR-Theorie: Aufgaben zum Erstellen der schriftlichen Erklärung**Erstelle eine schriftliche Erklärung zum Thema *VSEPR-Theorie*.

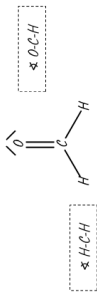
Beantworte dabei die folgenden Fragen und biete die Antworten in deine Ausarbeitung ein!

Tipp: Nimm dir die Checkliste zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung zur Hilfe.
Beachte in ganzen Sätzen zu schreiben!

Erläutere, warum es sich bei der VSEPR-Theorie handelt.

Erkläre anschließend die Regeln, welche du befolgen musst, um die Molekülgestalt nach der VSEPR-Theorie zu bestimmen. Verdeutliche die Regeln anhand von folgenden Aufgaben:

- ✓ **Regel 1:** Gib die Molekülstruktur von *CH₂O* nach der VSEPR-Theorie an.
- ✓ **Regel 2:** Vergleiche die Molekülstrukturen und Pseudostrukturen von *SO₂* und *CO₂*.
- ✓ **Regel 3:** Ordne die folgenden Moleküle, die jeweils eine trigonal-pyramidale Molekülstruktur besitzen, nach aufsteigendem Bindungswinkel: *NH₃*, *NF₃*, *NCI₃*.
- ✓ **Regel 4:** Ordne die folgenden beiden Bindungswinkel nach aufsteigender Größe:



Quellen:
Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2019). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (12. Aufl.). Berlin, Boston: De Gruyter

Säuren und Basen: Aufgaben zum Erstellen der schriftlichen Erklärung

Erstelle eine schriftliche Erklärung zum Thema *Säuren und Basen*.

Beantworte dabei die folgenden Fragen und biete die Antworten in deine Ausarbeitung ein!

 Tipp: Nimm dir die Checkliste zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung zur Hilfe. Beachte in ganzen Sätzen zu schreiben!

- Erkläre den Unterschied zwischen den folgenden Säure-Base-Theorien:
 - ✓ Arrhenius-Theorie
 - ✓ Brønsted-Lowry-Theorie
 - ✓ Lewis-Säure-Base-Theorie
- Erkläre die folgenden Protolysereaktionen mithilfe von Reaktionsgleichungen und gib jeweils die Massenwirkungskonstante an:
 - ✓ Autoprotolyse von Wasser H_2O MWG: K_w
 - ✓ Protolysereaktion von Säuren HA MWG: K_s
 - ✓ Protolysereaktion von Basen B MWG: K_b
- Vervollständige folgende Tabellen und beantworte die zugehörigen Fragen ausführlich:

Tabelle 1:

Verbindungen	Näherungsformel für den pH-Wert	Beispiel
starke Säuren	$pH = -\lg c_0 (HA)$	
schwache Säuren		CH_3COOH
mittelstarke Säuren	$c(H^+) = -\frac{K_{S1}}{2} + \sqrt{\frac{K_{S1}^2}{4} + K_{S1} \cdot c_0}$	H_3PO_4
starke Basen		$NaOH$

- Erkläre, warum anstelle der Protonenkonzentration $c(H^+)$ die Säurekonzentration c_0 eingesetzt werden kann, um den pH-Wert starker Säuren zu berechnen.
- Befindet sich das Protolysegleichgewicht bei schwachen Säuren stärker auf der linken oder der rechten Seite? Begründe deine Antwort.

Tabelle 2:

Verbindungen	Näherungsformel für den pH-Wert	Beispiel
Salz einer starken Säure/sterken Base	$c(H^+) = \sqrt{K_w}$ $pH = 7$	$NaCH_3COO$
	$c(H^+) = \sqrt{\frac{K_w \cdot c_0}{K_B}}$	NH_4Cl
Ampholyt	$pH = \frac{1}{2} (pK_{S1} + pK_{S2})$	NaH_2PO_4

- Erkläre, warum der pH-Wert wässriger Lösungen von Salzen starker Säuren und starker Basen 7 ist.
- Nenne die Säure und die Base, aus welchen sich die Ionen des Salzes $NaCH_3COO$ ableiten.

Quellen:
 Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
 Matsyuk, F.-M. (2023). *Vorlesung zur Analytischen Chemie*, Universität Regensburg.
 Mortimer, C. E. & Müller, U. (2020). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie* (13. Aufl.). Stuttgart, München: Thieme.
 Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2019). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (12. Aufl.). Berlin, Boston: De Gruyter.

Arbeitsblätter zum Erstellen der schriftlichen Erklärungen der Interventionsgruppe 2

Die Inhalte der Arbeitsblätter zum Erstellen der Video-Modeling-Examples der Interventionsgruppe 3 (IG_VS) sind identisch zu den Arbeitsblättern der Interventionsgruppe 2 (IG_EF). Diese werden auf Anfrage von der Autorin zur Verfügung gestellt.



Universität Regensburg

Erweiterungsseminar
Analytische & Anorganische Chemie

Redoxchemie: Aufgaben zum Erstellen der schriftlichen Erklärung

Erstelle eine schriftliche Erklärung zum Thema *Redoxchemie*.

Beantworte dabei die folgenden Fragen und biete die Antworten in deine Ausarbeitung ein!



Tipp: Nimm dir die Checkliste zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung zur Hilfe.
Beachte in ganzen Sätzen zu schreiben!

1. Erkläre die Bedeutung von Oxidationszahlen. Bestimme anschließend die Oxidationszahlen aller folgenden Atome und begründe dabei dein Vorgehen.
 - ✓ Na⁺
 - ✓ K₂CrO₄
 - ✓ MgCl₂
 - ✓ H₂PO₄⁻
 - ✓ SF₆
2. Beschreibe die Reaktion auf Teilchenebene, die bei Redoxreaktionen stattfindet und erkläre dabei die Vorgänge der Reduktion und Oxidation.
3. Erkläre die Begriffe Reduktionsmittel und Oxidationsmittel und weise sie in der folgenden Redoxreaktion den Reaktionspartnern begründet zu:

$$\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$$
4. Erkläre das Vorgehen zum Aufstellen von Redoxgleichungen. Wende dieses Vorgehen anschließend an, um folgende Aufgabe Schritt für Schritt zu lösen:
In basischer Lösung reagiert Brom zu Bromid und Bromat.

$$\text{Br}_2 \rightarrow \text{Br}^- + \text{BrO}_3^-$$

Gleiche am Ende die Reaktionsgleichung der Redoxreaktion aus.

Quellen:
Morimer, C. E. & Müller, U. (2020). Chemie. Das Basiswissen der Chemie (13. Aufl.). Stuttgart, München: Thieme.
Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2019). Allgemeine und Anorganische Chemie (12. Aufl.). Berlin, Boston: De Gruyter.



Universität Regensburg

Erweiterungsseminar
Analytische & Anorganische Chemie

VSEPR-Theorie: Aufgaben zum Erstellen der schriftlichen Erklärung

Erstelle eine schriftliche Erklärung zum Thema *VSEPR-Theorie*.

Beantworte dabei die folgenden Fragen und biete die Antworten in deine Ausarbeitung ein!

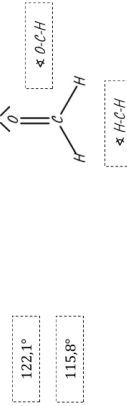


Tipp: Nimm dir die Checkliste zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung zur Hilfe.
Beachte in ganzen Sätzen zu schreiben!

1. Erläutere, warum es sich bei der VSEPR-Theorie handelt.
2. Nenne aus den folgenden Verbindungen diejenigen, die nicht gebildet werden können und begründe deine Antwort:

PF₃ SO₂ NCl₅ CO₂

Erkläre bei den übrigen Verbindungen wie du vorgehst, um die Molekülstruktur und Pseudostruktur zu bestimmen. Beschreibe auch die Regeln, die du dabei beachtest.
3. Ordne die folgenden Moleküle, die jeweils eine trigonal-pyramidale Struktur besitzen, nach aufsteigendem Bindungswinkel und begründe deine Antwort: NH₃, NF₃, NCl₃
4. Weise die folgenden Bindungswinkel richtig zu und begründe deine Antwort.



Quelle:
Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2019). Allgemeine und Anorganische Chemie (12. Aufl.). Berlin, Boston: De Gruyter



Universität Regensburg

Erweiterungsseminar
Analytische & Anorganische Chemie

Säuren und Basen: Aufgaben zum Erstellen der schriftlichen Erklärung

Erstelle eine schriftliche Erklärung zum Thema *Säuren und Basen*.

Beantworte dabei die folgenden Fragen und biete die Antworten in deine Ausarbeitung ein!

 **Tipp:** Nimm dir die Checkliste zum Erstellen einer schriftlichen Erklärung zur Hilfe. Beachte in ganzen Sätzen zu schreiben!

1. Definiere die Begriffe Säure und Base. Beschreibe den Zusammenhang zum pH bzw. pOH-Wert und bearbeite dabei die nachfolgenden Aufgaben.
2. Die Lösung einer schwachen Säure HA ($c = 0,26 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$) weist einen pH-Wert von 3,50 auf. Beschreibe dein Vorgehen beim Berechnen der Säurekonstante und gib diese anschließend an.
3. 200 mL einer Salzsäure-Lösung mit dem pH-Wert von 0,6 werden mit 600 mL einer zweiten Salzsäure-Lösung mit dem pH-Wert von 4 vermischt. Beschreibe dein Vorgehen beim Berechnen des pH-Wertes der Endlösung und gib diese anschließend an.
4. Beschreibe aus welchen Säuren und Basen sich die Ionen der folgenden Salze ableiten und ob es sich dabei jeweils um schwache oder starke Säuren und Basen handelt.
Berechne anschließend jeweils den pH-Wert der wässrigen Lösung des Salzes.
 - a. Salz: KCl ($c = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$)
Säure: Gib den Namen und die Stärke der Säure an.
Base: Gib den Namen und die Stärke der Base an.
pH-Wert: Berechne den pH-Wert und begründe den Wert.
 - b. Salz: Na_2CO_3 ($c = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$) $K_S = 4,2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$
Säure: Gib den Namen und die Stärke der Säure an.
Base: Gib den Namen und die Stärke der Base an.
pH-Wert: Berechne den pH-Wert.

Quellen:

Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Ganham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
Mätzlik, F.-M. (2023). *Vorlesung zur Analytischen Chemie*. Universität Regensburg.
Mortimer, C. E. & Müller, U. (2020). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie* (13. Aufl.). Stuttgart, München: Thieme.

11.2 Skripte der Lernvideos

11.2.1 Erklärvideos

Die Drehbücher zu den Videoskripten der weiteren Themenbereiche werden auf Anfrage von der Autorin zur Verfügung gestellt.

Drehbuch zum Videoskript: Erklärvideo zur Redoxchemie

Lernziele:

- Die Studierenden können den Unterschied zwischen Oxidationszahlen und Formalladungen erklären.
- Die Studierenden können die Regeln zum Bestimmen von Oxidationszahlen nennen.
- Die Studierenden können die Fachbegriffe Reduktion und Oxidation definieren.
- Die Studierenden können die Schritte zum Aufstellen von Redoxgleichungen erklären.

Phase	Sprechakte	Visuelle Elemente
Begrüßung	<p>Zündet man ein Stück Eisenwolle an und gibt es zu Chlorgas, glüht die Eisenwolle stark auf und es entwickeln sich gelbbraune Dämpfe. Dieses ist das bei der Reaktion entstehende Eisen(III)-chlorid. Auf Teilchenebene betrachtet findet zwischen den Eisenteilchen und den Chlorteilchen eine Elektronenübertragung statt.</p> <p>Reaktionen, bei welchen ein Teilchen Elektronen auf ein anderes überträgt, werden als Redoxreaktionen bezeichnet.</p> <p>Damit du bei solchen Reaktionsgleichungen weißt, welches Teilchen in der Reaktion die Elektronen abgibt und welches die Elektronen aufnimmt, erkläre ich dir in diesem Video, was Redoxreaktionen sind und wie man Teilgleichungen einer Redoxreaktion aufstellt.</p>	<p>Darstellung Versuchsaufbau</p> <p>Reaktionsgleichung mit Elektronenübertragung</p> <p>Fragezeichen: in welche Richtung findet Elektronenübertragung statt?</p>
Oxidationszahlen	<p>Doch bevor wir anfangen können, Redoxreaktionen aufzustellen, müssen wir uns erst mit dem Konzept der Oxidationszahlen befassen. Diese sind die Grundlage dafür, um den Ablauf von Redoxreaktionen zu bestimmen.</p> <p>Aber was ist eigentlich eine Oxidationszahl?</p> <p>Definiert wird die Oxidationszahl als Differenz zwischen der Protonenzahl und der Elektronenzahl in einem Atom.</p> <p>Die Oxidationszahl eines Atoms entspricht somit seiner Ladung. In einer Verbindung entspricht es der Ladung des Atoms in der Verbindung, wenn man die Bindungselektronen dem jeweils elektronegativerem Bindungspartner zuweist. In der Verbindung Wasserstoffchlorid ist Chlor das elektronegativere Element. Gedanklich zerlegst du die Verbindung somit in Ionen. Die Oxidationszahl entspricht dann</p>	<p>Definition</p> <p>Beispiel $H - Cl$</p> <p>Fiktive Ionen: H^+ und Cl^-</p>

	<p>der Ionenladung. Dies ist der Unterschied zu Formalladungen. Bei Formalladungen werden die Bindungselektronen in einer Verbindung gleichmäßig auf die Bindungspartner aufgeteilt, unabhängig ihrer Elektronegativität.</p> <p>Um die Oxidationszahl von der Formalladung zu unterscheiden, verwendet man meistens die römische Ziffer und stellt das Vorzeichen voran.</p> <p>Damit du die Oxidationszahlen einem Atom richtig zuweist, gibt es bestimmte Regeln, denen du folgen kannst. Diese gehen wir jetzt nacheinander durch.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bei einatomigen Teilchen entspricht die Oxidationszahl der Ladung des Teilchens. Bei Atomen, wie beispielsweise Silicium = 0 Bei Ionen = Ionenladung, sodass die Oxidationszahl bei Magnesium(III)-Ionen +3 ist 2. Bindungselektronen zwischen Atomen des gleichen Elements, wie im Chlormolekül, werden zu gleichen Teilen zwischen diesen verteilt: beide Atome erhalten die Oxidationszahl 0 3. Die Summe der Oxidationszahlen ist Für eine Verbindung = 0 (HCl) In einem mehratomigen Ion = Ionenladung (H_2PO_4^-) 4. Folgende Elemente kommen meist nur in einer Oxidationszahl vor Fluor in der Oxidationszahl -1 Sauerstoff hat meistens -II (Ausnahme: Peroxide) Alkali- und Erdalkali-Elemente = +1 bzw. +II Wasserstoff hat meistens die Oxidationszahl +I (Ausnahme: Metallhydride) 5. Die maximal mögliche Oxidationszahl entspricht die Anzahl der Valenzelektronen Die minimal mögliche Oxidationszahl, der Anzahl der Valenzelektronen - 8 Bei Stickstoff reicht die Skala der Oxidationszahlen beispielsweise von +V bis -III 	<p>Formalladungen (H - Cl)</p> <p>Regeln (nacheinander zeigen)</p>
<p>Reduktion und Oxidation</p>	<p>Um eine Änderung der Oxidationszahl anzugeben, verwendet man die Begriffe Oxidation bzw. Reduktion.</p> <p>Während der Reduktion eines Teilchens, werden Elektronen aufgenommen. Die Oxidationszahl erniedrigt sich damit. Das sieht man beispielsweise an der Reduktion von Chlormolekülen.</p> <p>Bei der Oxidation eines Teilchens, werden Elektronen abgegeben. Die Oxidationszahl erhöht sich damit. Bei der Oxidation von Eisenatomen zu Eisen(3+)Ionen steigt die Oxidationszahl auf plus 3.</p>	<p>Rückbezug zum Anfangsbeispiel: Reduktion: Beispiel Chlormolekül Oxidation: Beispiel Eisenatom</p>

	<p>Allgemeiner kann man folgende Reaktion formulieren: Die reduzierte Form eines Teilchens gibt Elektronen ab und wird zur oxidierten Form. Andersrum betrachtet, wird die oxidierte Form eines Teilchens nach Elektronenaufnahme zur reduzierten Form. Die reduzierte und oxidierte Form bildet zusammen ein korrespondierendes Redoxpaar. Somit sind sowohl Cl²⁻ und Cl⁻ ein Redoxpaar als auch Fe und Fe³⁺. Reduktion und Oxidation treten nicht isoliert auf, sondern laufen nur gemeinsam ab. Es findet eine Elektronen-Übertragung von einem Atom auf ein anderes statt. Das heißt die Elektronen, die von einem Atom abgegeben werden, werden von einem anderen wieder aufgenommen. Das Chlormolekül nimmt somit die Elektronen auf, die von Eisenatomen abgegeben werden. Reaktionen, bei welchen eine Elektronenübertragung stattfindet, werden somit Reduktions-Oxidations-Reaktionen genannt. Die Kurzform dieser Reaktion lautet auch Redox-Reaktion. An einer Redoxreaktion sind immer zwei Redoxpaare beteiligt.</p>	<p>Reduktions-Oxidations-Reaktion wird zur Redoxreaktion: farblich kennzeichnen</p>
<p>Reduktions-/Oxidationsmittel</p>	<p>Der Reaktionspartner einer Redoxreaktion, der die Elektronen aufnimmt, heißt Oxidationsmittel. Er wird in der Reaktion selbst reduziert und oxidiert ein anderes Teilchen. Umgekehrt heißt der Reaktionspartner, der die Elektronen abgibt, Reduktionsmittel und wird selbst oxidiert.</p>	<p>Infos Oxidationsmittel und Reduktionsmittel</p>
<p>Redoxgleichungen</p>	<p>Um die Redoxgleichungen der Redoxpaare aufzustellen, gehst du am besten nach folgenden 5 Schritten vor.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Edukte und Produkte, die an der Reduktion bzw. Oxidation beteiligt sind, angeben und die Oxidationszahlen aller Atome bestimmen. Die Oxidationszahlen zeigen, bei welchem Element eine Änderung stattfindet. Wir schauen uns das mal am Beispiel der Reaktion von Kupfer mit Salpetersäure an Das Kupferatom reagiert zum Kupfer-2+-Ion. Das Nitrat anion der Salpetersäure reagiert zum Stickstoffmonoxid-Molekül. 2. Die Zahl der auf- bzw. abgegebenen Elektronen wird bestimmt. Die Differenz der Oxidationszahlen für jedes Redoxpaar, entspricht der Zahl der Elektronen, die die reduzierte Form mehr besitzt als die oxidierte Form. Bei der Reaktion vom Kupferatom zum Kupfer 2+ Ion, werden 2 Elektronen abgegeben. Somit handelt es sich bei dieser Reaktionsteilgleichung um die Oxidation. 	<p>Aufstellen Redoxgleichungen nacheinander: farblich kennzeichnen an den Regeln und der Redoxgleichung</p>

	<p>Bei der Reaktion vom Nitrat anion zum Stickstoffmonoxidmolekül werden 3 Elektronen aufgenommen, sodass es sich hier um die Reduktion handelt.</p> <p>3. Die Summe der Ladungen auf jeder Seite der Gleichung wird ausgeglichen. Der Ladungsausgleich in der wässrigen Lösung erfolgt mit den Ionen des Mediums In sauren, wässrigen Lösungen mit H_3O^+ Ionen In basischen, wässrigen Lösungen mit OH^- Ionen</p> <p>Da es sich um eine Reaktion in saurer Lösung handelt, gleichen wir die Reduktion mit 4 Oxoniumionen auf der linken Seite aus.</p> <p>4. Die Zahl der Atome jeder Atomsorte wird ausgeglichen. Der Stoffausgleich erfolgt mit Wasser. Für den Stoffausgleich benötigen wir bei der Reduktion 6 Wassermoleküle.</p> <p>5. Die Anzahl der übertragenen Elektronen ausgleichen, indem du die beiden Teilgleichungen so mit Faktoren multiplizierst, dass die Anzahl der Elektronen in der Reduktionsteilgleichung der in der Oxidationsteilgleichung entspricht.</p> <p>Daher multiplizieren wir die Oxidationsteilgleichung mit dem Faktor 3 und die Reduktionsteilgleichung mit dem Faktor 2.</p> <p>Die Redoxgleichung wird durch Addition der beiden Teilgleichungen erhalten. Damit erhalten wir folgende Redoxgleichung.</p>	
Zusammenfassung	<p>Bei Redoxreaktionen werden Elektronen von einem Teilchen auf ein anderes übertragen. Man unterteilt Redoxreaktionen in die Reduktion und die Oxidation, wobei bei der Reduktion die Elektronen aufgenommen und bei der Oxidation die Elektronen abgegeben werden.</p>	Elektronenübertragung visuell zeigen
Ende	<p>Bei unserer Reaktion zwischen den Eisenteilchen und Chlorteilchen, wissen wir jetzt, dass die Eisenteilchen auf die Chlormoleküle übertragen und diese somit reduzieren. Wende die Schritte zum Aufstellen von Redoxgleichungen an, so kannst du wissen, welche Teilchen in einer Redoxreaktion reduziert und welche oxidiert werden. Viel Spaß beim Anwenden!</p>	<p>Rückbezug zum Anfangsbeispiel → Fragezeichen wird beantwortet</p>

11.2.2 Video-Modeling-Examples

Die Drehbücher zu den Videoskripten der weiteren Themenbereiche werden auf Anfrage von der Autorin zur Verfügung gestellt.

Drehbuch zum Videoskript: Video-Modeling-Example zur Redoxchemie

Lernziele:

Die Studierenden können Oxidationszahlen von Atomen, Ionen sowie von Atomen in Verbindungen bestimmen.
 Die Studierenden können die Schritte zum Aufstellen einer Redoxgleichung anwenden, um die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung einer Redoxreaktion anzugeben.

Medium	Phase	Sprechakte	Visuelle Elemente
PP	Einführung	Bei Redoxreaktionen gibt eine Reaktand Elektronen ab, die von einem anderen aufgenommen werden. Das Teilchen, das die Elektronen abgibt, wird dabei oxidiert und das andere reduziert. Um die Teilgleichungen der Reduktion und Oxidation richtig aufzustellen, um dann die Redoxgleichung zu erhalten, zeige ich dir in diesem Video wie du Schritt für Schritt vorgehen kannst. Doch bevor wir Redoxgleichungen aufstellen können, müssen wir uns genauer mit dem Konzept der Oxidationszahlen auseinandersetzen. Deswegen zeige ich dir zunächst, wie du die Oxidationszahlen verschiedener Verbindungen bestimmen kannst.	Elektronenübertragung visuell zeigen
EE	Aufgabe 1 → Oxidationszahlen	Das zeige ich dir anhand der folgenden Aufgabe: Bestimme die Oxidationszahlen aller Atome. Ich starte mit der ersten Verbindung NH ₃ . Entsprechend dem Konzept der Oxidationszahlen, weise ich in Verbindungen die Bindungselektronenpaare dem elektronegativeren Bindungspartner zu. Um es mir vorstellen zu können, zeichne ich zunächst die Lewis-Struktur der Verbindung. Da Stickstoff elektronegativer als Wasserstoff ist, weise ich die Bindungselektronenpaare dem Stickstoffatom zu. Die Oxidationszahl entspricht jetzt der Ladung der Bindungspartner, wenn ich sie mir als Ionen denke. Das Stickstoffatom hätte eine dreifach negative Ladung und hat somit die Oxidationszahl -3. Die Wasserstoffatome hätten eine positive Ladung und haben somit die Oxidationszahl +1. Ich notiere die Oxidationszahlen als römische Ziffer über dem entsprechenden Atom in der Verbindung und stelle das Vorzeichen voraus.	Aufgabe einblenden und markieren Summenformel NH ₃ Lewis-Struktur Zuweisung Bindungselektronen Ionische Denkweise Oxidationszahlen notieren

		<p>Bei der nächsten Verbindung $AlCl_3$ gehe ich genauso vor. Chlor ist elektronegativer als Aluminium, sodass ich die Bindungselektronen den Chloratomen zuweise. Das Aluminium hätte eine dreifach positive Ladung und hat daher die Oxidationszahl +3. Die Chloratome hätten eine negative Ladung. Die Oxidationszahl der Chloratome ist jeweils -1.</p> <p>Zur Vereinfachung kann ich auch folgende Regeln anwenden, um die Oxidationszahlen zu bestimmen.</p> <p>Nach diesen Regeln entspricht die Oxidationszahl eines Ions seiner Ladung. Fe^{3+} hat also die Oxidationszahl +3.</p> <p>Nach den Regeln weiß ich im HNO_3 Molekül, dass das Sauerstoffatom die Oxidationszahl -II hat und das Wasserstoffatom die Oxidationszahl +1 hat. Da die Summe der Oxidationszahlen der Ladung des Moleküls entsprechen muss und diese gleich 0 ist, muss das Stickstoffatom die Oxidationszahl +5 haben.</p> <p>Auch im Sulfat-Anion hat das Sauerstoffatom die Oxidationszahl -2. Die Summe der Oxidationszahlen im Sulfat-Anion entspricht der Ladung des Ions, also -2. Das Schwefelatom muss somit nur 6 negative Ladungen kompensieren und hat die Oxidationszahl +6. Die Oxidationszahl ungeladener einatomiger Teilchen ist 0.</p> <p>Zum Aufstellen von Redoxgleichungen schauen wir uns folgende Aufgabe genauer an. Bei der Auflösung von Kupfer in Salpetersäure entstehen Cu^{2+}-Ionen und Stickstoffmonoxid NO.</p> <p>Stelle die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung der Redoxreaktion auf. Begründe, ob Kupfer dabei ein Reduktions- oder Oxidationsmittel ist.</p> <p>Wie der Aufgabenstellung zu entnehmen ist, soll ich die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung der Redoxreaktion aufstellen. Der Angabe ist zu entnehmen, dass Kupfer und Salpetersäure die Edukte der Reaktion sind. Da es sich um eine wässrige Lösung der Salpetersäure handelt und diese in Wasser zum Nitrat-Anion reagiert, formuliere ich die Teilgleichung mit dem Nitrat-Anion. Aus Kupferatomen entstehen dabei Cu^{2+}-Ionen und das Nitrat-Anion reagiert zum Stickstoffmonoxid-Molekül.</p>	<p>Summenformel $AlCl_3$ Lewis-Struktur Zuweisung Bindungselektronen Ionische Denkweise und Oxidationszahlen Regeln Oxidationszahlen</p> <p>Summenformel Fe^{3+} → Markieren entsprechender Regel</p> <p>Summenformel HNO_3 → Markieren entsprechender Regel</p> <p>Summenformel SO_4^{2-} → Markieren entsprechender Regel</p>
EE	Aufgabe 2 → Redoxgleichungen		<p>Aufgabe einblenden und markieren</p> <p>Edukte Produkte</p>

		<p>Nachdem ich notiert habe, welche Edukte und Produkte an der Reaktion teilnehmen, muss ich die Oxidationszahlen der Reaktionspartner bestimmen.</p> <p>Da das Kupferatom ein einatomiges, ungeladenes Teilchen ist hat es die Oxidationszahl 0. Die Oxidationszahl der Kupfer 2+ Ionen entspricht ihrer Ionenladung und ist somit +2. Da das Sauerstoffatom die Oxidationszahl -II hat, hat das Stickstoffatom im Nitrat-Anion die Oxidationszahl +5 und im Stickstoffmonoxid-Molekül die Oxidationszahl +II.</p> <p>Die Oxidationszahlen sind wichtig, damit ich den Elektronenausgleich in den Teilgleichungen bestimmen kann.</p> <p>Dafür schaue ich mir die Oxidationszahlen der jeweiligen Reaktionspartner an und gleiche diese mit der entsprechenden Anzahl an Elektronen aus. Ich sehe, dass die Oxidationszahl bei der Reaktion von Kupferatomen zu Kupfer-2+-Ionen von 0 auf +2 steigt. Somit gibt das Kupferatom bei der Reaktion 2 Elektronen ab.</p> <p>Das Stickstoffatom im Nitrat-Anion nimmt 3 Elektronen auf, sodass die Oxidationszahl bei der Reaktion zum Stickstoffmonoxid von +5 auf +2 sinkt.</p> <p>Da das Kupferatom die Elektronen bei der Reaktion abgibt, die das Nitrat-Anion dann aufnimmt, handelt es sich bei der ersten Teilgleichung um die Oxidation und bei der zweiten Teilgleichung um die Reduktion.</p> <p>Jetzt muss ich die Ladungen der Teilgleichungen ausgleichen. Die Ladungssumme der Oxidationsteilgleichung sind auf beiden Seiten gleich, nämlich 0.</p> <p>In der zweiten Teilgleichung steht eine Ladungsungleichheit vor, da die Ladung auf der linken Seite insgesamt bei -4 ist und auf der rechten Seite bei 0. Je nachdem in welchem Milieu die Reaktion stattfindet, muss ich mit Hydroxid- oder Oxoniumionen ausgleichen. Da eines der Reaktionspartner Salpetersäure ist und die Reaktion somit im sauren, wässrigen Milieu stattfindet, gleiche ich die Ladungen mit Oxoniumionen aus.</p> <p>Ich gleiche die Reduktionsteilgleichung mit 4 einfach-positiv geladenen Oxoniumionen aus. Der Stoffausgleich erfolgt anschließend über Wasser. Dafür benötige ich 6 Wassermoleküle auf der Produktseite.</p> <p>Um zum Schluss die Gesamtgleichung aufzustellen, muss ich die Anzahl der übertragenen Elektronen ausbalancieren. Daher multipliziere ich die Oxidations-Teilgleichung mit dem Faktor 3, während ich die Reduktions-Teilgleichung mit dem Faktor 2 multipliziere. Addiere ich jetzt beide Teilgleichungen, erhalte ich die Redox-Gesamtgleichung.</p>	<p>Oxidationszahlen</p> <p>Elektronen</p> <p>Oxidation Reduktion</p> <p>Oxoniumionen Wassermoleküle</p> <p>Faktor 3 Faktor 2 Redoxgleichung</p>
--	--	--	---

		<p>Die Anzahl der Elektronen ist dabei auf beiden Seiten der Reaktionsgleichung gleich, sodass ich diese aus der Redoxgleichung streichen kann. Die endgültige Redoxgleichung lautet $3 \text{ Cu} + 2 \text{ NO}_3^- + 8 \text{ H}_3\text{O}^+ \rightarrow 3 \text{ Cu}^{2+} + 2 \text{ NO} + 12 \text{ H}_2\text{O}$</p> <p>Zur Beantwortung der Frage, ob es sich bei Kupfer um ein Oxidations- oder Reduktionsmittel handelt, schau ich mir nochmal die beiden Teilgleichungen an. Das Kupferatom wird während der Reaktion selbst oxidiert und bewirkt die Reduktion des Stickstoffatoms im Nitrat-Ion. Kupfer ist deshalb das Reduktionsmittel in der Reaktion.</p>	<p>Kupferatome werden selbst oxidiert, reduzieren Nitrat-Anione Kupfer ist das Reduktionsmittel</p>
PP	Zusammenfassung	Hier siehst du nochmal, wie du schrittweise vorgehen kannst, um Redoxgleichungen aufzustellen.	Regeln aufblenden
PP	Abschluss	Und damit wünsche dir viel Spaß beim Bestimmen von Oxidationszahlen und dem Aufstellen von Redoxgleichungen.	

Aufgabe 3:

Im Nitrat-Anion ist eine der N-O-Bindungen eine Doppelbindung, während die anderen beiden Einfachbindungen sind. Tatsächlich sind aber alle drei N-O-Bindungen mit 122 pm gleich lang.

N-O-Einfachbindung: 136 pm N-O-Doppelbindung: 119 pm

Erläutere den Befund unter Berücksichtigung von **mindestens zwei** Valenzstrichformeln und Fachtermini.

Aufgabe 5:

Das Cyanat-Anion OCN^- bildet viele stabile Salze, während Salze mit dem Fulminat-Anion CNO^- häufig explosiv sind. Bitte erkläre den Sachverhalt unter Verwendung von Fachtermini.



Aufgabe 4:

a. Kreuze bitte diejenige der folgenden mesomeren Grenzstrukturformeln an, welche die Bindungsverhältnisse des Moleküls **FNNN** **nicht** korrekt wiedergibt.
(Bitte kreuze nur eine Antwort an)

- $:\text{F}-\overset{\oplus}{\text{N}}\equiv\text{N}=\overset{\ominus}{\text{N}}:$
- $:\overset{\oplus}{\text{F}}-\text{N}\equiv\text{N}=\overset{\ominus}{\text{N}}:$
- $:\overset{\oplus}{\text{F}}\equiv\text{N}-\overset{\ominus}{\text{N}}\equiv\text{N}:$
- $:\overset{\ominus}{\text{F}}-\overset{\oplus}{\text{N}}-\text{N}\equiv\text{N}:$

b. Begründe deine Antwort kurz.

11.3.2 Kodiermanual zum Fachwissenstest

Kodiermanual Fachwissenstest Hauptstudie

Inhaltsverzeichnis

Teilbereich VSEPR	.....1
VSEPR 1: Valenzstrichformeln	.....1
VSEPR 2: Bindungswinkel	.....2
VSEPR 3: Doppelbindung	.....3
VSEPR 4: Mesomerie	.....4
VSEPR 5: Stabilität	.....5
Teilbereich Säure-Base-Chemie	.....6
SB 1: Brönsted-Lowry-Theorie	.....6
SB 2: Säurestärke	.....6
SB 3: Schwache Säuren	.....7
SB 4: pH-Wertberechnung	.....8
SB 6: Gleichgewicht	.....9
SB 7: Säure-/Basenstärke	.....10
Teilbereich Redoxchemie	.....11
Redox 1: Reduktionsmittel	.....11
Redox 2: Oxidationszahlen	.....12
Redox 3: Reaktionsgleichung	.....13
Redox 4: Disproportionierung	.....13
Redox 5: Redoxreaktion	.....14

Teilbereich VSEPR (9 Punkte)

VSEPR 1: Valenzstrichformeln

Frage:

Zeichne bitte die Valenzstrichformeln für die folgenden Verbindungen, die die korrekte Gestalt wiedergeben, unter Berücksichtigung aller Valenzelektronen. Beachte die Oktettregel und gib alle formalen Ladungen an.

Sage zudem mit der VSEPR-Theorie die zu erwartende Pseudostruktur und Struktur für die Verbindungen voraus.

Amid-Ion NH_2^- , Phosphortrichlorid PCl_3

Antwort:

Valenzstrichformeln:

$\begin{array}{c} \ominus \\ \text{N} \\ \text{H} \end{array}$	Alle freien Elektronenpaare vorhanden Negative formale Ladung am Stickstoffatom Valenzstrichformel gewinkelt oder linear	maximal 1 Punkt 0,5 Punkte
$\begin{array}{c} \text{:Cl:} \\ \text{P} \\ \text{:Cl:} \end{array}$	Fehlende freie Elektronenpaare Keine oder positive formale Ladung am Stickstoffatom	0 Punkte 0 Punkte
	Alle freien Elektronenpaare vorhanden	0,5 Punkte
	Fehlende freie Elektronenpaare	0 Punkte

Struktur (S) und Pseudostruktur (PS):

Amid-Ion	S: gewinkelt PS: tetraedrisch	0,5 Punkte 0,5 Punkte
Phosphortrichlorid-Molekül	S: trigonal pyramidal PS: tetraedrisch	0,5 Punkte 0,5 Punkte
	Bei keiner Kennzeichnung von S oder PS, Bezeichnung auf Struktur beziehen	
	Falsche Strukturen	Je 0 Punkte

Ankerbeispiele¹:

$\text{H}-\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{H}$, linear	0,5 Punkte
$\text{H}-\overset{\ominus}{\text{N}}-\text{H}$, Struktur: gewinkelt, Pseudostruktur: tetraedrisch	1,5 Punkte

¹ Die Ankerbeispiele sind Antworten der Studierenden aus der Pilotstudie und wurden unverändert in das Kodiermanual übernommen.

VSEPR 2: Bindungswinkel

Frage:

Die trigonal-pyramidale Moleküle AsF_3 und $AsCl_3$ haben Bindungswinkel von $96,2^\circ$ bzw. $98,5^\circ$. Erkläre diese Tatsache unter Einbezug der Elektronegativität.

Antwort:

Elektronegative Substanzen ziehen bindende Elektronenpaare stärker an sich heran. Elektronenpaare elektronegativer Substanzen vermindern deren Raumbedarf.	maximal 1 Punkt
Mit wachsender Elektronegativität der Substituenten nimmt Bindungswinkel ab, da Elektronenpaare elektronegativer Substanzen deren Raumbedarf vermindern.	1 Punkt
Fluoratom ist elektronegativer als Chloratom und der Bindungswinkel nimmt ab, da Elektronenpaare elektronegativer Substanzen deren Raumbedarf vermindern.	1 Punkt
Fluoratom ist elektronegativer als Chloratom und daher nimmt der Bindungswinkel ab.	0,5 Punkte
Elektronegative Substanzen ziehen bindende Elektronenpaare stärker an sich heran. Fluoratom ist elektronegativer als Chloratom und zieht daher die bindenden Elektronenpaare stärker an sich heran.	0,5 Punkte
Elektronenpaare elektronegativer Substanzen vermindern deren Raumbedarf.	0,5 Punkte
Mit wachsender Elektronegativität der Substituenten, nimmt Bindungswinkel ab.	0,5 Punkte
Fluoratom ist elektronegativer als Chloratom.	0 Punkte

Ankerbeispiele:

„Fluor ² hat eine höhere Elektronegativität als Chlorid und zieht somit die Bindungselektronen an sich, weshalb die Raumerfüllung der As-F Bindung kleiner ist als die der As-Cl Bindung. Somit können die Fluoratome näher aneinander Rücken (durch freies EP verdrängt) werden und ein kleinerer Bindungswinkel resultiert“	1 Punkt
„Fluor ist Elektronegativer als Chlor. Deshalb werden die Elektronen in AsF_3 stärker von den Fluor-Atomen angezogen und der Bindungswinkel wird kleiner.“	0,5 Punkte
„Fluor ist elektronegativer, als Chlor (Trend im PSE) Daher zieht Fluor die Elektronen des Arsen stärker an als das Chlor. Da Arsen noch ein freies Elektronenpaar besitzt, entstehen die genannten Winkel.“	0,5 Punkte
„Elektronegativität F > Elektronegativität Cl → Elektronegativerer Elemente nehmen weniger Platz ein.“	0 Punkte

² Fachsprachliche Fehler in den Antworten wurden nicht gewertet, solange die fachlichen Aspekte der Frage korrekt beantwortet wurden

VSEPR 3: Doppelbindung

Frage:

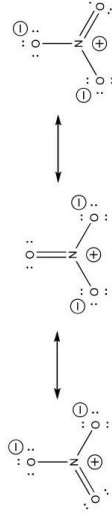
Im Nitrat-Ion ist eine der N-O-Bindungen eine Doppelbindung, während die anderen beiden Einfachbindungen sind. Tatsächlich sind aber alle drei N-O-Bindungen mit 122 pm gleich lang.

N-O-Einfachbindung: 136 pm

N-O-Doppelbindung: 119 pm

Erläutere den Befund unter Berücksichtigung von **mindestens zwei** Valenzstrichformeln und Fachtermini.

Antwort:
Valenzstrichformeln:



Alle freien Elektronenpaare vorhanden	0,5 Punkte
Formale Ladungen korrekt angegeben	
Korrektur Mesomeriepfeil	
Mindestens zwei Grenzstrukturen	0 Punkte
Fehlende Elektronenpaare	0 Punkte
Formale Ladungen falsch	0 Punkte
Falscher Mesomeriepfeil	0 Punkte
Nur eine Grenzstruktur	0 Punkte

Fachtermini

Das Nitrat-Ion ist mesomeriestabilisiert. Anhand der mesomeren Grenzstrukturen ist der partielle Doppelbindungscharakter im Molekül zu erkennen.	maximal 1 Punkt
Das Nitrat-Ion ist mesomeriestabilisiert und die Bindungslängen im Molekül liegen zwischen einer Einfach- und Doppelbindung.	1 Punkt
Das Nitrat-Ion ist mesomeriestabilisiert.	0,5 Punkte
Partieller Doppelbindungscharakter der N-O-Bindungen.	0,5 Punkte
Bindungslängen im Nitrat-Ion liegen zwischen einer Einfach- und Doppelbindung.	0,5 Punkte

Ankerbeispiele:

„Es handelt sich um eine mesomere Grenzstruktur, also sind es weder Einfach- noch Doppelbindungen, sondern etwas dazwischen.“	1 Punkt
„Durch die Stabilisierung des Moleküls über mesomere Grenzstrukturen ist ein delokalisiertes Elektronensystem gegeben.“	0,5 Punkte
„Daher liegt bei allen drei Bindungen ein Wert zwischen dem Wert für eine „normale“ NO und dem Wert für eine Doppelbindung vor.“	0 Punkte
„Die Bindung ist delokalisiert.“	0 Punkte

VSEPR 4: Mesomerie

a. **Frage:** Kreuze bitte diejenige der folgenden mesomeren Grenzstrukturformel an, welche die Bindungsverhältnisse des Moleküls FN₃ nicht korrekt wiedergibt. (Bitte kreuze nur eine Antwort an)

- Antwort:**
- $\text{:}\ddot{\text{F}}-\ddot{\text{N}}=\overset{\oplus}{\text{N}}\equiv\overset{\ominus}{\text{N}}\text{:}$
- $\text{:}\overset{\oplus}{\text{F}}-\overset{\oplus}{\text{N}}\equiv\overset{\ominus}{\text{N}}\equiv\overset{\ominus}{\text{N}}\text{:}$
- $\overset{\oplus}{\text{F}}\equiv\overset{\oplus}{\text{N}}-\overset{\ominus}{\text{N}}\equiv\overset{\ominus}{\text{N}}\text{:}$
- $\text{:}\overset{\ominus}{\text{F}}-\overset{\ominus}{\text{N}}-\overset{\oplus}{\text{N}}\equiv\overset{\oplus}{\text{N}}\text{:}$

Richtige Antwort	1 Punkt
Falsche Antwort	0 Punkte
Bei keinem oder mehr als einem Kreuz	0 Punkte

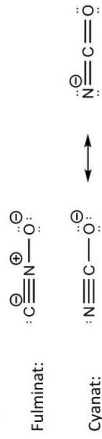
b. **Frage:** Begründe deine Antwort kurz.

Antwort:

Oktettregel am Stickstoffatom ist verletzt.	maximal 1 Punkt
Oktettüberschreitung am Stickstoffatom.	1 Punkt
Stickstoffatom besitzt mehr als 8 Elektronen.	0,5 Punkte
Stickstoffatom besitzt 10 Elektronen.	0,5 Punkte
Weitere Begründungen.	0 Punkte

VSEPR 5: Stabilität

Frage: Das Cyanat-Ion OCN⁻ bildet viele stabile Salze, während Salze mit dem Fulminat-Ion CNO⁻ häufig explosiv sind. Bitte erkläre den Sachverhalt unter Verwendung von Fachtermini.



Antwort:

Das Fulminat-Ion besitzt mehr Formalladungen, was dazu führt, dass es instabil und explosiver als das Cyanat-Ion ist.	maximal 1,5 Punkte
Das Cyanat-Ion ist mesomeriestabilisiert.	1 Punkt
Das Fulminat-Ion besitzt mehr Formalladungen als das Cyanat-Ion.	0,5 Punkte
Das Fulminat-Ion ist instabiler als das Cyanat-Ion und ist daher explosiv.	0,5 Punkte

Ankerbeispiele:

„Das Cyanat-Ion ist gut mesomeriestabilisiert und bildet daher die stabilen Salze. Das Fulminat-Ion hingegen besitzt keine Mesomerie und reagiert daher schnell und explosiv.“	1 Punkt
„Explosiv bedeutet niedrige Aktivierungsenergie, sehr reaktiv. → wenig/keine mesomeren Grenzstrukturformeln“	0,5 Punkte
„CNO ⁻ stärkere Teilladungen, dementsprechend stärkere Reaktion.“	0 Punkte

Teilbereich Säure-Base-Chemie
(8 Punkte)

SB 1: Brönsted-Lowry-Theorie

Frage:

Definiere alle beteiligten Teilchen folgender Reaktion nach der Brönsted-Lowry-Theorie:



Antwort:		maximal 1 Punkt
H ₂ O:	Protonendonator	1 Punkt
NH ₃ :	Protonenakzeptor	
OH ⁻ :	Protonenakzeptor	
NH ₄ ⁺ :	Protonendonator	
H ₂ O:	Säure	0,5 Punkte
NH ₃ :	Base	
OH ⁻ :	Base	
NH ₄ ⁺ :	Säure	

SB 2: Säurestärke

Frage:

Welche Beziehung besteht zwischen der Stärke einer Säure, der Säurekonstante und dem pK_S-Wert?

(Bitte kreuze nur eine Antwort an)

Antwort:

- Eine Säure ist umso stärker, je größer ihre Säurekonstante und ihr pK_S-Wert sind.
- Eine Säure ist umso stärker, je kleiner ihre Säurekonstante und ihr pK_S-Wert sind.
- Eine Säure ist umso stärker, je kleiner ihre Säurekonstante ist und je größer ihr pK_S-Wert ist.
- Eine Säure ist umso stärker, je größer ihre Säurekonstante ist und je kleiner ihr pK_S-Wert ist.

Richtige Antwort	1 Punkt
Falsche Antwort	0 Punkte
Bei keinem oder mehr als einem Kreuz	0 Punkte

SB 3: Schwache Säuren

Frage:

Verhalten sich Ionen, die sich von schwachen Säuren ableiten sauer oder basisch?

(Bitte kreuze nur eine Antwort an)

Antwort:

- Das Anion von Salzen, das sich von Säuren ableitet, entspricht der konjugierten Base. Je schwächer eine Säure ist, desto stärker ist die konjugierte Base. Daher verhalten sich Anionen, die sich von schwachen Säuren ableiten, in Lösungen basisch.
- Das Anion von Salzen, das sich von Säuren ableitet, entspricht der konjugierten Base. Je schwächer eine Säure ist, desto schwächer ist die konjugierte Base. Daher verhalten sich Anionen, die sich von schwachen Säuren ableiten, in Lösungen basisch.
- Das Anion von Salzen, das sich von Säuren ableitet, entspricht der konjugierten Säure. Je schwächer eine Säure ist, desto schwächer ist die konjugierte Säure. Daher verhalten sich Anionen, die sich von schwachen Säuren ableiten, in Lösungen sauer.
- Das Anion von Salzen, das sich von Säuren ableitet, entspricht der konjugierten Säure. Je schwächer eine Säure ist, desto stärker ist die konjugierte Säure. Daher verhalten sich Anionen, die sich von schwachen Säuren ableiten, in Lösungen sauer.

Richtige Antwort	1 Punkt
Falsche Antwort	0 Punkte
Bei keinem oder mehr als einem Kreuz	0 Punkte

SB 4: pH-Wertberechnung

Frage:

Berechne bitte die pH-Werte folgender Lösungen und gib jeweils die korrekte Formel für die Berechnung an.

a. Essigsäure $c(\text{HAc}) = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

Antwort:

Formel und pH = 2,88	1 Punkt
Nur Formel.	0,5 Punkte
Nur pH-Wert.	0,5 Punkte

b. Natronlauge $c(\text{NaOH}) = 0,001 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

Antwort:

Formel und pH = 11	1 Punkt
Nur Formel.	0,5 Punkte
Nur pH-Wert.	0,5 Punkte

c. Puffersystem $c(\text{HAc}) = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$; $c(\text{NaAc}) = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ (HAc: $pK_s = 4,75$)

Antwort:

Formel und pH = 4,75	1 Punkt
Nur Formel.	0,5 Punkte
Nur pH-Wert.	0,5 Punkte

SB 5: Gleichgewicht

a. Frage:

Beschreibe, in welche Richtung sich der pH-Wert einer Essigsäure-Lösung verschiebt, wenn man in dieser Lösung Natriumacetat (CH_3COONa) auflöst.

Antwort:
Punkte

maximal 0,5

Der pH-Wert steigt.	0,5 Punkte
Die Lösung wird basischer.	0,5 Punkte
Der pH-Wert sinkt.	0 Punkte

b. Frage

Begründe deine Antwort unter Berücksichtigung des Reaktionsgleichgewichts.

Antwort:

Das Gleichgewicht wird durch die Zugabe von Acetat-Ionen nach links verschoben. Es sind mehr Acetat-Ionen in der Lösung.	0,5 Punkte 0 Punkte
---	------------------------

Ankerbeispiele:

„Die Essigsäurelösung wird saurer, da mehr CH_3COO^- in der Lösung vorliegen wird.“	0 Punkte
---	----------

SB 6: Säure-/Basenstärke

Frage:

Stelle den Zusammenhang zwischen dem folgenden Trend der Säure-/Basenstärke in Abhängigkeit der Stellung im Periodensystem und der Elektronegativität her.

(Bitte kreuze nur eine Antwort an)

NaOH	starke Base
Mg(OH) ₂	mittelstarke Base
Al(OH) ₃	schwache Base, amphoterer Charakter
H ₄ SiO ₄	sehr schwache Säure
H ₃ PO ₄	mittelstarke Säure
H ₂ SO ₄	starke Säure
HClO ₄	sehr starke Säure

Antwort:

- Mit steigender Elektronegativität des an Sauerstoff gebundenen Elements, wird die Bindung zum Sauerstoff schwächer. Dies begünstigt die Abspaltung des Protons und der Säurecharakter nimmt zu.
- Mit steigender Elektronegativität des an Sauerstoff gebundenen Elements, wird die Bindung zum Sauerstoff stärker. Dies begünstigt die Abspaltung des Protons und der Säurecharakter nimmt ab.
- Mit steigender Elektronegativität des an Sauerstoff gebundenen Elements, wird die Bindung zum Sauerstoff stärker. Dies verhindert die Abspaltung des Protons und der Säurecharakter nimmt zu.
- Mit steigender Elektronegativität des an Sauerstoff gebundenen Elements, wird die Bindung zum Sauerstoff stärker. Dies begünstigt die Abspaltung des Protons und der Säurecharakter nimmt zu.

Richtige Antwort	1 Punkt
Falsche Antwort	0 Punkte
Bei keinem oder mehr als einem Kreuz	0 Punkte

10

Teilbereich Redoxchemie

(8 Punkte)

Redox 1: Reduktionsmittel

- a. Frage:**
Definiere bitte den Begriff Reduktionsmittel.

Antwort:	maximal 1 Punkt
Substanz, die bei einer chemischen Reaktion oxidiert wird und dadurch die Reduktion einer anderen Substanz bewirkt (Mortimer et al., 2014, S. 238).	1 Punkt
Substanz, die bei einer chemischen Reaktion oxidiert wird.	0,5 Punkte
Substanz, die die Reduktion einer anderen Substanz bewirkt.	0,5 Punkte
Substanz, die reduziert wird.	0 Punkte

Ankerbeispiele:

„Reduktionsmittel verringert die Ox-zahl (Na)“	0 Punkte
„Ein Reduktionsmittel ist ein Mittel, durch welches sich die Oxidationszahl des Reaktionspartners erhöht“	0 Punkte

b. Frage:

Ordne die Begriffe Reduktionsmittel und Oxidationsmittel bei der Reaktion von Chlor mit Natrium den Reaktanden zu.

Antwort:	1 Punkt
Chlor = Oxidationsmittel; Natrium = Reduktionsmittel	0,5 Punkte
Chlor = Oxidationsmittel	0,5 Punkte
Natrium = Reduktionsmittel	0,5 Punkte
Chlor = Reduktionsmittel; Natrium = Oxidationsmittel	0 Punkte

11

Redox 2: Oxidationszahlen

Frage:

Bestimme die Oxidationszahlen des Permanganat-Anions.

(Bitte kreuze nur eine Antwort an)

Antwort:

- $\overset{+1}{\text{Mn}}\overset{-1}{\text{O}_4^-}$
- $\overset{+7}{\text{Mn}}\overset{-2}{\text{O}_4^-}$
- $\overset{+3}{\text{Mn}}\overset{-1}{\text{O}_4^-}$
- $\overset{+8}{\text{Mn}}\overset{-2}{\text{O}_4^-}$

Richtige Antwort	1 Punkt
Falsche Antwort	0 Punkte
Bei keinem oder mehr als einem Kreuz	0 Punkte

Redox 3: Reaktionsgleichung

a. Frage:

Erkläre, wieso die folgende Reaktionsgleichung nicht korrekt ist.



Antwort:

maximal 0,5 Punkte

Zunahme und Abnahme der Oxidationszahlen nicht ausgeglichen.	0,5 Punkte
Ladungen nicht ausgeglichen.	0,5 Punkte

b. Frage:

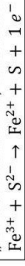
Korrigiere diese anschließend.

Antwort:

$2 \text{Fe}^{3+} + \text{S}^{2-} \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + \text{S}$	0,5 Punkte
Weitere Reaktionsgleichungen	0 Punkte

Ankerbeispiele:

„Es fehlen Elektronen, auf Seite der Produkte“



„Nicht gleiche Anzahl an e⁻ verschoben.“

Redox 4: Disproportionierung

Frage:

Erkläre bitte den Begriff der Disproportionierung.

Antwort:

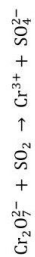
maximal 1 Punkt

Reaktion, bei der eine Substanz gleichzeitig zum Teil oxidiert und zum Teil reduziert wird. (Mortimer)	1 Punkt
Bei einer Redox-Reaktion gehen die Atome desselben Elements von einer mittleren Oxidationsstufe in eine höhere und eine tiefere über. (Jander/Blasius).	1 Punkt
In einer Redox-Reaktion gehen die Atome desselben Elements von einer Oxidationsstufe in zwei neue über.	0,5 Punkte
Die Atome desselben Elements gehen von einer mittleren Oxidationsstufe in eine höhere und eine tiefere über.	0,5 Punkte
Substanz wird gleichzeitig zum Teil oxidiert und zum Teil reduziert.	0,5 Punkte
Die Atome desselben Elements gehen von einer Oxidationsstufe in zwei neue über.	0 Punkte

Redox 5: Redoxreaktion

Frage:

Stelle die Redox-Teilgleichungen und die Gesamtgleichung zur folgenden Reaktion im sauren Milieu auf.



Antwort:	maximal 3 Punkte
Reduktion: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}_3\text{O}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 21 \text{H}_2\text{O}$	1 Punkt
Reduktion: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$	1 Punkt
Oxidation: $\text{SO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{e}^- + 4 \text{H}_3\text{O}^+$	1 Punkt
Oxidation: $\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{e}^- + 4 \text{H}^+$	1 Punkt
Redox: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 3 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-} + 3 \text{H}_2\text{O}$	1 Punkt
Redox: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 3 \text{SO}_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	1 Punkt
Reduktion: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{X} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + \text{X}$	0,5 Punkte
Oxidation: $\text{SO}_2 + \text{X} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{X}$	0,5 Punkte

11.3.3 Kodiermanual zur Erfassung der Qualität schriftlicher Erklärungen

Ziel des Kodiermanuals ist die Analyse schriftlicher Erklärungen von Chemiestudierenden im Hinblick auf ihre inhaltliche Qualität. Die Studierenden besuchen die Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie im Modul Allgemeine Chemie im ersten Semester. Die Erstellung der schriftlichen Erklärungen im Rahmen eines Begleitseminars zu den Vorlesungen dient zur Förderung der Fach- und Explorationskompetenz der Studierenden. Die Qualitätsanalyse der schriftlichen Erklärungen mithilfe des vorliegenden Kodiermanuals dient zur Erfassung der Explorationskompetenz. Die Codes jeder Kategorie spiegeln den Score-Wert wider. Je höher der Gesamt-Score-Wert einer schriftlichen Erklärung ist, desto qualitativ hochwertiger ist die Erklärung.

Beschreibung der schriftlichen Erklärungen

Die Studierenden erstellen jeweils eine schriftliche Erklärung zu den Themengebieten Redoxchemie, VSEPR-Theorie und Säure-Base-Chemie. Dafür erhalten die Studierenden vorab Aufgaben, die sie im Rahmen der schriftlichen Erklärung beantworten und erklären sollen. Das Kodiermanual dient dazu die Qualität der Erklärungen und Aufgabenbearbeitung zu bewerten.

Allgemeine Regeln beim Kodieren

- 1) Vor Beginn des Kodierens wird die schriftliche Erklärung einmal komplett durchgelesen. Dabei werden noch keine Kategorien des Kodiermanuals gewertet. Es können sich ggf. Notizen gemacht und Passagen markiert werden. Danach wird die schriftliche Erklärung ein zweites Mal durchgelesen, wobei nun das Kodiermanual angewendet wird.
- 2) Jeder Kategorie wird nur ein Wert zugewiesen, indem die Kodierregeln angewendet werden und unter Berücksichtigung der Hinweise eine passende Ausprägung ausgewählt wird. Es werden keine instinktiven Entscheidungen getroffen, die unabhängig des Kodiermanuals begründet werden.
- 3) Die Reihenfolge der Bewertung der Kategorien ist dem Kodierenden überlassen. Es wird jedoch keines der Kategorien im Kodiermanual ausgelassen und ohne eine Wertung übergangen.
- 4) Jede Kategorie beinhaltet neben der genauen Beschreibung der Ausprägungen Hinweise. Diese enthalten Beispiele, die die Ausprägungen präzisieren und die Abgrenzung zu anderen Kategorien deutlich machen.
- 5) Es werden die Aufgaben und Operationalisierungen der Aufgabenstellungen, welche die Studierenden bearbeiten, berücksichtigt und die Bewertung der schriftlichen Erklärung wird auf diese zurückgeführt.
- 6) In den Kategorien 1.6, 1.7 und 3.3 wird die Länge der schriftlichen Ausarbeitung berücksichtigt.
- 7) Die Kategorien, die nicht in jeder schriftlichen Erklärung klar kodiert werden können, werden mit dem Wert 77 kodiert.

KODIERMANUAL

Zur Analyse schriftlicher Erklärungen im Fach Chemie

Sevan Khagy
Universität Regensburg

- 1. Strukturiertheit**
 1.1 Zielklarheit
Erkenntnisinteresse: Wird das Ziel der Erklärung verständlich vermittelt?
Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:
 Nach Wagner und Wörn (2011) macht eine Erklärung die Zielvorstellung klar ersichtlich. Dies ermöglicht den Lernenden die Inhalte der Erklärung in das bestehende Wissen zu integrieren (Brown, 2006; Heinze, 2022).
 Um Zielklarheit zu realisieren, wird die Problemstellung, welche der Erklärung zu Grunde liegt, zu Beginn genannt. Ziel der Erklärung ist dabei die Lösung dieser Problemstellung.

Code	Ausprägung
0	In der Ausarbeitung ist keine Problemstellung eingebaut oder es wird kein Bezug auf das Thema genommen. Das Ziel der Erklärung wird somit nicht deutlich.
1	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut oder es wird Bezug auf das Thema genommen. Das Ziel der Erklärung wird vollständig deutlich.

- Hinweise:**
- Vorgehen beim Kodieren: Themenennung, Zielstellung oder Problemstellung der Ausarbeitung identifizieren.
 - Auch die Nennung des Themas oder der Problemstellung wird korrekt gewertet.
 - Die Nennung des Themas sollte zu Beginn der Ausarbeitung erfolgen: entweder direkt zu Beginn oder nach einer kurzen Einleitung in das Thema.
 - Nennung am Ende ist keine Zielnennung, sondern zählt als Zusammenfassung.
 - Es wird nur eine **explizite** Thema-/Zielnennung gewertet:
 VSEPR-Theorie steht für... → wird nicht gewertet: Thema wird zwar genannt, aber der explizite Bezug zur schriftlichen Ausarbeitung fehlt.
 Beispiele für eine Zielstellung: → Kodieren mit **1**
 CLAPET04: „Tausende Moleküle schweben ständig vor unserer Nase herum, und doch können wir sie nicht sehen. Aber wie können wir sie uns vorstellen? Wie sieht so ein Molekül denn überhaupt aus? Generell geht die Vorstellung von Atom auf Kugeln zurück, verbindet man sie nun zu Molekülen, so steckt man die Kugeln mit Stäben zusammen, aber wie genau sieht das am Ende aus? Hierbei hilft uns die VSEPR-Theorie. Sie gibt uns einen Plan, wie wir die dreidimensionale Struktur eines Moleküls ermitteln können.“¹
 BETJOS09: „Die folgende Erklärung beschäftigt sich mit der Säuren und Basen Chemie. Aber was sind eigentlich Säuren?“²
 BETJOS09: „Um von der Summenformel eines Moleküls zur Molekülstruktur zu kommen, braucht man eine gewisse Vorgehensweise und diese wird in der folgenden Erklärung genauer dargestellt.“

¹ Die Ankerbeispiele aus den schriftlichen Erklärungen wurden unverändert übernommen. Eventuelle Fehler in der Rechtschreibung und der Grammatik wurden nicht korrigiert.

- 1. Strukturiertheit**
 Zielklarheit
 Passung in Bezug auf die Problemstellung
 Zusammenfassung
 Schrittweiser Aufbau
 Roter Faden
 Kohärenz

- 2. Fachliche Aspekte**
 Inhaltliche Vollständigkeit
 Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt
 Fachliche Korrektheit bezogen auf die Aufgaben
 Konzepte, Regeln und Prinzipien (Breite)
 Detailliertheit der Beschreibung (Tiefe)
 Passende Fachbegriffe (Breite)
 Definition der Fachbegriffe (Tiefe)
 Stoff-/Teilebene

- 3. Adressatenorientierung**
 Vorwissen
 Elaboration
 Beschränkung auf wesentliche Informationen
 Anthropomorphe und teleologische Formulierungen

1.2. Passung in Bezug auf die Problemstellung

Erkenntnisinteresse: Passt das Ziel zur bearbeiteten Problemstellung?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der drei Ausprägungen.

Beschreibung:

Das Ziel einer Erklärung besteht darin, Wissen strukturiert aufzubauen und zu verbinden, indem die Erklärung mit einer Problemstellung verknüpft wird (Prediger & Erath, 2014).

Lediglich das Aufzeigen einer Problemstellung reicht als Qualitätsmerkmal einer Erklärung nicht aus. Es ist von Bedeutung, die Problemstellung so zu formulieren, dass die nachfolgende Erklärung darauf Bezug nimmt und Problemstellung dadurch im Laufe der Erklärung gelöst wird.

Code Ausprägung

77	In der Ausarbeitung ist keine Problemstellung eingebaut bzw. es findet sich nur eine Nennung des Themas.
0	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut, auf die im Laufe der Erklärung kein Bezug genommen wird und die dadurch nicht gelöst wird.
1	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut, welche im Laufe der Erklärung teilweise gelöst wird.
2	In der Ausarbeitung ist eine Problemstellung eingebaut, welche im Laufe der Erklärung vollständig gelöst wird.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es wird die Problemstellung der Ausarbeitung identifiziert und der Bezug zur Problemstellung wird bewertet.
- Problemstellung bezieht sich auf die von den Studierenden formulierte Problemstellung, nicht auf die durch die Aufgabenstellung vorgegebene.
- Kodierbeispiel zur Ausprägung 1:
CLAPET04: „Säuren und Basen, was genau das überhaupt ist und was du mit ihnen anfangen kannst, findest du hier raus.“
Zwei Fragestellungen: Was sind Säuren und Basen? Was kann man mit Säuren und Basen anfangen? Nur die erste Fragestellung wird geklärt – somit nur teilweise.
- Befindet sich in der schriftlichen Ausarbeitung anstelle einer Problemstellung lediglich die Nennung eines Themas, so wird mit 77 kodiert. In dieser Kategorie kann somit auch dann mit 77 kodiert werden, wenn in Kategorie 1.1 Zielklarheit mit 1 kodiert wird.
- Alternativ zu einer ausformulierten Problemstellung kann auch eine konkrete Zielstellung der Erklärung gewertet werden:
KATTOB07: „Lieber Peer, heute möchte ich dir zeigen, wie man die Struktur eines Moleküls nach der VSEPR-Theorie bestimmt.“ → Strukturbestimmung mit der VSEPR-Theorie ist das Ziel der Erklärung.
- Eine Problemstellung kann auch weit gefasst sein:
BETJOS09: „Die folgende Erklärung beschäftigt sich mit der Säuren und Basen Chemie. Aber was sind eigentlich Säuren?“

Anmerkungen:

- **Kategorienherkunft:** Prediger & Erath (2014)
- **Operationalisierung:** Eigene Entwicklung

- Beispiele für eine Ausprägung 0:

PINSER08: „Um den räumlichen Bau von Molekülen zu beschreiben, braucht man die VSEPR-Theorie, welche ein Modell zur Darstellung der geometrischen Struktur von Molekülen ist“

MIRGER01: „Um wässrige Lösungen zu charakterisieren, verwendet man den sogenannten pH-Wert.“

MANJOE08: „Zunächst eine Definition von Redox. Redox Reaktionen sind chemische Reaktionen, bei denen Elektronen von einem Molekül auf den Reaktionspartner übertragen werden. Wie viele Elektronen und von wo nach wo lässt sich durch Oxidationszahlen bestimmen.“

CHAHAR09: „Redoxreaktionen sind Reaktionen, wo ein Teilchen Elektronen auf das andere überträgt. Um solche Reaktionen aufstellen zu können, müssen wir uns erstmal die Bedeutung der Oxidationszahlen anschauen.“

→ jeweils nur **implizite** Nennung des Themas, ohne dass Bezug auf die schriftliche Erklärung genommen wird.

Anmerkungen:

- **Kategorienherkunft:** Wagner & Wörn (2011)
- **Operationalisierung:** Eigene Entwicklung

1.3 Zusammenfassung

Erkenntnisinteresse: Wird eine Zusammenfassung geboten, in der das Wichtigste wiederholt wird?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:

Eine Zusammenfassung gibt das Wesentliche der Erklärung kurz und aussagekräftig wieder. Es soll sich nur auf die wichtigsten Fakten konzentriert werden und unrelevante Einzelheiten sollen weglassen werden.

Code	Ausprägung
0	Es ist keine Zusammenfassung vorhanden oder es ist eine Zusammenfassung vorhanden, die jedoch die Kernaussage und die wichtigsten Fakten der Erklärung nicht trifft.
1	Es ist eine aussagekräftige Zusammenfassung vorhanden, die die Kernaussage und die wichtigsten Fakten der Erklärung trifft .

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es wird bewertet, ob eine Zusammenfassung vorhanden ist, die die Kriterien erfüllt.
- Die Zusammenfassung wird für jedes Thema, nicht für jede Aufgabe gezählt.
- Es muss eindeutig ersichtlich sein, dass es sich um eine Zusammenfassung handelt, ansonsten wird mit 0 kodiert. Evident ist es dann, wenn in dem Absatz explizit „Zusammenfassung“ genannt wird oder erkennbar ist, dass es sich um die Zusammenfassung der gesamten Erklärung handelt und nicht zur letzten Aufgabe gehört.
- Es wird nicht die Länge der Zusammenfassung gewertet, sondern die Qualität.
- Eine Zusammenfassung wird auch dann als vorhanden gewertet, wenn keine konkreten Inhalte und Regeln wiederholt werden. Es genügt, wenn die wichtigsten Punkte aufgegriffen werden: KATTOB07 (Redox): „Wir haben Oxidationszahlen mithilfe einfacher Regeln bestimmt und damit die Grundlage zum Lösen von Redoxgleichungen geschaffen. Wir haben den Grundlegenden Mechanismus von Redoxgleichungen wiederholt und leicht zu verwechselnde Fachbegriffe eindeutig und an Beispielen erklärt. Zuletzt haben wir eigenständig eine Redoxgleichung aufgestellt.“
- Werden nur Teile der Kernaussage getroffen, wird dennoch mit der Ausprägung 1 kodiert.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015*
- *Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

1.4 Schrittwise Aufbau

Erkenntnisinteresse: Bauen die einzelnen Schritte der Erklärung sinnvoll aufeinander auf?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung:

Ein zentrales Kriterium zur Strukturiertheit von Erklärungen ist, dass sich dieser schrittweise entwickelt. Ein schrittwise Aufbau der Erklärung setzt voraus, dass die Inhalte einer Erklärung sinnvoll aufeinander aufbauen (Schopf & Zwischenbrügger, 2015). Dies bedeutet, dass sowohl die Reihenfolge der behandelten Themen als auch die einzelnen Erklärungsschritte sinnvoll angeordnet werden.

- Bezogen auf die schriftlichen Erklärungen können beispielsweise folgende Fehler vorkommen:
- Beim Aufstellen von Redoxreaktionen werden wichtige Schritte übersprungen/vertauscht.
 - Beschreibung der Molekülgestalt, bevor die Molekülstruktur erklärt wird.

Code	Ausprägung
0	Die Ausarbeitung baut an mindestens vier Stellen nicht sinnvoll aufeinander auf.
1	Die Ausarbeitung baut an zwei oder drei Stellen nicht sinnvoll aufeinander auf.
2	Die Ausarbeitung baut an höchstens einer Stelle nicht sinnvoll aufeinander auf.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es werden die Schritte, die **nicht** sinnvoll aufeinander aufbauen identifiziert und gezählt.
- Werden bei der Erklärung zwei Schritte vertauscht, wird dies nur als einen Fehler gewertet. Die Kodierung zielt darauf ab, zu untersuchen, ob die Erklärung sinnvoll aufeinander aufbaut.
- Die Reihenfolge der Schritte innerhalb der Erklärung sollte beachtet und nachvollziehbar korrekt sein.
- Hier wird die Erklärung nicht in einzelne Sinnabschnitte unterteilt, sondern die Erklärung wird als Ganzes bewertet. Sinnabschnitte werden durch die Aufgabenstellung vorgegeben. Es wird untersucht, ob die einzelnen Erklärungsschritte richtig aufeinander aufbauen.
- Beispiel CLAPET04 (VSEPR): „Hierbei hilft uns die VSEPR-Theorie. Sie gibt uns einen Plan, wie wir die dreidimensionale Struktur eines Moleküls ermitteln können. Wir unterscheiden zwischen einer Molekül- und einer Pseudostruktur. Bei Molekülen ohne einem freien Elektronenpaar am zentralen Atom entspricht die Molekülstruktur gleich der Pseudostruktur. [...] Nun zur VSEPR-Theorie. Um die geometrische Struktur eines Moleküls zu bestimmen müssen ein paar Regeln beachtet werden.“ → hier wird der Unterschied zwischen der Molekül- und Pseudostruktur erklärt, bevor die VSEPR-Theorie erläutert wird.
- Sofern die vertauschten Schritte in zwei aufeinanderfolgenden Sätzen erfolgen, die aufeinander aufbauen und deren Sinn beibehalten wird, stellt dies keinen Fehler dar.
- Beispiel PINSE08 (Säure/Base): „Um die Säurekonstante, auszurechnen, brauchen wir die H-Konzentration. Die Säurekonstante sagt aus, wie stark oder schwach eine Säure ist.“
- Das Vernachlässigen der Prioritäten bei der Bestimmung der Oxidationszahlen werden nicht als Fehler gewertet.
- Wird ein Fachbegriff in der Erklärung verwendet und erst an späterer Stelle definiert, wird dies als Fehler gewertet.
- Die Argumentationslinie sollte logisch aufeinander aufbauen. Es sollten keine falschen Schlussfolgerungen erfolgen, auch wenn diese inhaltlich korrekt sind.

1.5 Roter Faden

Erkenntnisinteresse: Folgt die Erklärung einem roten Faden?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der drei Ausprägungen.

Beschreibung:

Eine klare Struktur in der Erklärung ist beim Aufzeigen von Zusammenhängen von großer Bedeutung. Diese wird durch einen roten Faden verdeutlicht und erleichtert den Aufbau von mentalen Modellen in einem neuen Wissensbereich (Kulgemeyer, 2020). Der rote Faden wird dann befolgt, wenn passende Überleitungen sowohl zwischen einzelnen Erklärabschnitten als auch innerhalb eines Erklärabschnitts vorhanden sind. Durch die Verwendung von Überleitungen kann der Gedankengang des Erklärenden gut nachvollzogen werden (Schopf & Zwischenbrugger, 2015; Kulgemeyer, 2020). Zudem sollten Zusammenhänge zwischen einzelnen Erklärabschnitten ersichtlich werden (Schopf & Zwischenbrugger, 2015).

Code	Ausprägung
0	Der rote Faden wird mindestens viermal nicht befolgt bzw. es sind mindestens vier Brüche enthalten.
1	Der rote Faden wird zweimal oder dreimal nicht befolgt bzw. es sind zwei oder mindestens drei Brüche enthalten.
2	Der rote Faden wird höchstens einmal nicht befolgt bzw. es ist nur ein Bruch enthalten.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es werden Brüche in der Erklärung identifiziert und gezählt.
 - Wenn Argumente oder Erklärungen folgen, die nichts mit der ursprünglichen Fragestellung oder dem Thema zu tun haben oder zu weit abschweifen, wird dies nicht als Bruch gewertet, solange der rote Faden beibehalten wird. Dies wird erst in der Kategorie 3.3 *Beschränkung auf wesentliche Informationen* bewertet.
 - Wenn mehrere aufeinanderfolgende Sätze nicht mehr dem roten Faden folgen, wird dies als Fehler gewertet.
 - Es sollten Überleitungen zwischen einzelnen Sinnabschnitten und innerhalb eines Sinnabschnitts vorhanden sein, um den Gedankengang des Erklärenden nachvollziehen zu können.
 - Die Einführung neuer Konzepte ohne eine adäquate Überleitung wird als Bruch gewertet.
 - Die Präsentation von Beispielen ohne Bezug wird ebenfalls als ein Bruch gewertet.
- Beispiel für Bezug zwischen Beispiel und Ausarbeitung:
 CLAPET04 (Redox): „Um diesen Vorgang noch zu vertiefen, werden wir ein weiteres Beispiel behandeln.“
- Werden Aufzählungen, Aufgabenstellungen oder Beispiele ohne eine **vorherige** Überleitung dargestellt, wird dies als ein Bruch gewertet. Es wird auch dann als **einen** einzigen Bruch gewertet, wenn mehrere Beispiele oder mehrere Aufzählungspunkte folgen.
 - **Nach** Beispielen oder Aufzählungen ist keine zwingende Überleitung nötig, sofern der Gedankengang weiterhin klar ersichtlich ist.

- Beispiele für eine **Überleitung**:
 RAMROB04 (Redox): „Um die Oxidationszahl nun auch bei allen Atomen und Verbindungen bestimmen zu können gibt es hier ein paar Regeln.“
 RAMROB04 (Redox): „Nun ein paar Beispiele an denen wir diese Regeln anwenden können.“

Beispiel PINSER08 (Säure/Base): „Gegeben ist eine schwache Säure [...] Dadurch erkennt man, dass es sich bei der vorliegenden Säure um eine schwache Säure handelt.“

- Die logische Reihenfolge der einzelnen Schritte muss behalten bleiben.
 Beispiel CHROTT07 (Redox): „Das O steht für das bestimmen der Oxidationszahlen. Man muss hier erst einmal die Oxidation [...] und Reduktion [...] erkennen.“ → Oxidations- und Reduktionsteilgleichungen werden anhand der Oxidationszahlen bestimmt. Es müssen somit erst die Oxidationszahlen bestimmt werden.

Unterschied zur Kategorie 1.5 Roter Faden:

Roter Faden ist dann gegeben, wenn einzelne Aspekte aufeinander aufbauen. Schritt für Schritt ist gegeben, wenn die Reihenfolge der Schritte beim Erklären korrekt ist.

Beispiel, wenn roter Faden in der Erklärung gut, Schritt für Schritt schlecht ist:
 Gieße deinen Smoothie in ein Glas, um ihn zu genießen. Um ihn herzustellen, gib Bananenstücke, Erdnussbutter und Hafermilk in einen Mixer. Schäle davor die Banane und schneide sie in Stücke, damit du es leichter mixen kannst. Bevor du alles auf hoher Stufe mixt, decke den Mixer ab.
 → Schrittfolge durcheinander, aber Zusammenhänge und Gedankengänge klar ersichtlich.

Beispiel, wenn Schritt für Schritt gut, roter Faden in der Erklärung schlecht ist:
 Um einen Smoothie herzustellen, brauchst du eine Banane, Erdnussbutter und Hafermilk. Schäle die Banane. Schneide die Banane in Stücke. Der Mixer muss angesteckt sein. Gib alle Zutaten in den Mixer. Vergiss den Deckel auf dem Mixer nicht. Mixe alles auf höchster Stufe. Gieße den Smoothie abschließend in ein Glas.
 → Richtige Schrittfolge, aber Zusammenhänge nicht ersichtlich. Mehrere Brüche.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Schopf & Zwischenbrugger (2015);*
- *Operationalisierung: Adaptiert nach Reimer & Tepper (2025)*

1.6 Kohärenz

Erkenntnisinteresse: Werden die Inhalte kohärent dargestellt?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung:

Eine lernförderliche Erklärung zeichnet sich durch die Kohärenz zwischen den inhaltlichen Aussagen aus. Durch das Hervorheben von Zusammenhängen oder der Verknüpfung mit Alltagsbeispielen wird das Verständnis der Lernenden unterstützt. Dies ist im Aufbau mentaler Repräsentationen von Konzepten förderlich (Kulgemeyer, 2020; Wittwer & Renkl, 2008).
Nur wenn einzelne Begriffe und Konzepte miteinander vernetzt werden, kann bedeutungsvolles Lernen erfolgen (Kattmann, 2003). Die Verbindung von Phänomenen mit Konzepten erfolgt durch die Verwendung von Konnektoren wie „weil“ oder „da“ (Kulgemeyer, 2020).

Code Ausprägung

0	In der schriftlichen Erklärung werden keine Zusammenhänge dargestellt. Es sind keine Konnektoren wie „weil“ und „da“ enthalten.
1	In der schriftlichen Erklärung wird ein Zusammenhang oder höchstens drei dargestellt. Es ist ein Konnektor, höchstens drei enthalten.
2	In der schriftlichen Erklärung werden mindestens vier Zusammenhänge dargestellt. Es sind mindestens vier Konnektoren enthalten.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Kausale Zusammenhänge, die durch Konnektoren dargestellt werden, suchen und zählen.
- Es werden nur Zusammenhänge gewertet, die sinnhaft und korrekt sind.
- Synonyme zu „weil“ und „da“ werden ebenfalls gewertet, solange es sich um Konnektoren handelt, die Zusammenhänge in der Erklärung darstellen. Es müssen zwingend kausale Zusammenhänge aufgezeigt werden. Bsp.: „Dadurch, dass“, „Aufgrund dessen, dass“, „Somit“
- Beispiele für die Aufprägung 1:
 DIAENR12 (VSEPR): „**Aufgrund dessen, dass die beiden Zentralatome in unterschiedlichen Hauptgruppen stehen und dadurch eine verschiedene Anzahl an Valenzelektronen besitzen, bilden sich unterschiedliche Strukturen aus.**“ → „Aufgrund dessen, dass“ alternativ zu „da“
 CLAPET04 (Säure/Base): „**Starke Säuren bzw. Basen dissoziieren in wässriger Lösung nahezu vollständig. Somit lässt sich der pH-Wert aus der Ausgangskonzentration berechnen [...].**“ → „somit“ alternativ zu „da“
 MIRGER01 (VSEPR): „**Dem liegt zu Grunde, dass die Elektronegativität von Fluor größer ist wie die von Chlor und Wasserstoff hat die geringste Elektronegativität.**“ → „Dem liegt zu Grunde, dass“ alternativ zu „da“
 MIRGER01 (VSEPR): „**Das liegt an der Doppelbindung zwischen dem Kohlen- und dem Wasserstoff, welche mehr Platz beansprucht als eine Einfachbindung.**“ → „Das liegt an“ alternativ zu „da“
- Beispiele für die Ausprägung 0:
 PINSER08 (Säure/Base): „**Acidität bezeichnet die Fähigkeit einer Verbindung, Protonen abzugeben. Somit sind laut Brönsted Säuren Protonendonatoren.**“ → „somit“ keine Alternative zu „da“, da hier kein kausaler Zusammenhang besteht. Es erfolgt eine Folgerung durch „somit“.

KATTOB07 (Säure/Base): „Hierbei zeige ich dir anhand ausgewählter Aufgaben, wie du Probleme rund um dieses Fachgebiet löst. In Aufgabe 1 befassen wir uns mit den drei wichtigsten Säure-Base Theorien.“

- Überschriften werden nicht als Bruch gewertet, solange der Gedankengang weiterhin klar vorhanden ist.
- MIRGER01 (Säure/Base): „Aufgabe 1: Um von einer schwachen Säure mit bekannter Konzentration und pH-Wert die Säurekonstante zu berechnen, verwendet man die 2. Formel für schwache Säuren und löst diese dann nach K_s auf.“ → Kein Bruch, da Überleitung trotz Überschrift vorhanden.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Schopf & Zwischenbrugger (2015); Kulgemeyer (2020)*
- *Operationalisierung: Adaptiert nach Reimer & Tepner (2025)*

2. Fachliche Aspekte

2.1 Inhaltliche Vollständigkeit

Erkenntnisinteresse: Ist die Erklärung vollständig, bezogen auf die vorgegebene Aufgabenstellung?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:

Die fehlende Bearbeitung einer Aufgabe kann nicht mit einem Fehler in der Bearbeitung gleichgesetzt werden. Die korrekte Bearbeitung aller Aufgaben setzt jedoch ihre Vollständigkeit voraus.

Code	Ausprägung
0	Die Aufgabenstellung wird in der Erklärung nicht vollständig bearbeitet.
1	Die Aufgabenstellung wird in der Erklärung vollständig bearbeitet.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Vollständigkeit der Erklärung in Bezug auf die Aufgabenstellung bewerten.
- Hier wird nicht die Qualität oder der Umfang der Ausarbeitungen gewertet, sondern nur die Vollständigkeit der Erklärung.
- Die Vollständigkeit der Erklärung bezieht sich auf die vorgegebene Aufgabenstellung.
- Fehlende Konzepte werden hier nicht berücksichtigt, sondern in Kategorie 2.4 *Konzepte, Regeln, Prinzipien (Breite)* gewertet.
- Hier werden fehlende Antworten in Bezug auf die Aufgabenstellung gewertet.
- Sollte durch die Studierenden gekennzeichnet werden, dass sie die Aufgabe nicht beantworten konnten (durch bsp. ein Fragezeichen) wird dies ebenfalls als fehlend gewertet.
- Bei der Wertung der fachlichen Vollständigkeit werden auch die **Operatoren** der Aufgabenstellung beachtet.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Reimer & Tepner (2025)*
- *Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Kulgemeyer (2020); Wittwer & Renkl (2008)*
- *Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

2.2. Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt

Erkenntnisinteresse: Wie viele fachliche oder fachsprachliche Fehler befinden sich in der inhaltlichen Ausarbeitung?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der vier Ausprägungen.

Beschreibung:

Der Lerngegenstand sollte in den Ausführungen fachlich und fachsprachlich korrekt beschrieben werden. Der Lerngegenstand wird mithilfe von korrekten Fachbegriffen eingeführt und erklärt.

Bezogen auf die schriftlichen Erklärungen können beispielsweise folgende Fehler vorkommen:

- Reduktions- und Oxidationsmittel verwechselt
- Fehler beim Aufstellen der Redoxreaktion
- Inkorrekte Verwendung von Reaktionspfeilen
- Verwendung von „Hydronium-Ion“ anstelle von „Hydroxid-Ion“
- Inkorrekte Beschreibung oder Zeichnung von Molekülen nach der VSEPR-Theorie

Code Ausprägung

77	keine schriftliche Ausarbeitung neben der Bearbeitung der Aufgabenstellung.
0	Die schriftliche Arbeit enthält mindestens sechs fachliche oder fachsprachliche Fehler/unsaubere Fachsprache.
1	Die schriftliche Arbeit enthält vier oder fünf fachliche oder fachsprachliche Fehler/unsaubere Fachsprache.
2	Die schriftliche Arbeit enthält zwei oder drei fachliche oder fachsprachliche Fehler/unsaubere Fachsprache.
3	Die schriftliche Arbeit enthält höchstens einen fachlichen oder fachsprachlichen Fehler/unsaubere Fachsprache.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Fachliche und fachsprachliche Fehler suchen und zählen.
- Unterscheidung zur Kategorie 2.3 *Fachliche Korrektheit bezogen auf die Aufgaben*: Hier werden **nicht** die Ausarbeitungen bezogen auf die Aufgabenstellung bewertet. Diese werden in Kategorie 2.3 untersucht. Diese Kategorie bezieht sich auf die schriftlichen Ausführungen, die **zusätzlich** ausgearbeitet werden.
- Befindet sich ein fachlicher Fehler sowohl in der inhaltlichen Ausführung als auch in der Bearbeitung der Aufgabenstellung, wird der Fehler als **Wiederholungsfehler** gewertet und nur in der Kategorie, in der es zuerst vorkommt, gewertet.
Bsp. CLAPET04 (VSEPR)
Inhalt: „Zusätzlich gilt, dass Doppelbindungen einen **kleineren** Bindungswinkel besitzen als Einfachbindungen.“
Aufgabe: „Die Bindung zum Sauerstoffatom ist eine Doppelbindung, besitzt deshalb einen **kleineren** Winkel als eine Einfachbindung [...].“
Fachlicher Fehler wird **nur** in der Kategorie 2.2 einmalig gewertet.
- Ein wiederholter fachlicher bzw. fachsprachlicher Fehler wird nur einmal gezählt, auch wenn er an unterschiedlichen Stellen der Ausführung zu finden ist.
- Fachliche Fehler werden in diesem Kodiermanual als fachliche Konzepte, welche falsch erklärt oder falsch eingesetzt werden, definiert.
Ein fachsprachlicher Fehler oder unsaubere Fachsprache findet sich, wenn ein Fachbegriff falsch eingesetzt wird oder ein Fehler im fachlichen Ausdruck vorhanden ist.

- Fehler in Konzepten Bsp. PINSESR08 (VSEPR): „Außerdem hat PF_3 3 Fluoratom als Bindungspartner“ → fachlicher Fehler, da Fehler im Konzept der Bindungspartner als Teil der VSEPR-Theorie
- Wird die Autoprotolysereaktion so formuliert, dass sie nicht zur dargestellten Massenwirkungskonstante passt, wird dies als fachlicher Fehler gewertet.
Fehlerhaft: $H_3O^+ + OH^- \rightleftharpoons 2 H_2O$
Korrekt: $2 H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$
- Wird bei dem Thema Säuren und Basen der pOH-Wert genannt, wenn nach dem pH-Wert gefragt ist, wird dies als fachlicher Fehler gewertet.
- Fehlende Einheiten werden als fachsprachlichen Fehler gewertet.
- Bezeichnung eines Protons (H^+) als Oxonium wird als fachsprachliche Fehler gewertet.
- Fehler in Summen- oder Strukturformeln werden als fachsprachliche Fehler gewertet.
Bsp. CLAPET04 (Redox): „Bei H_2PO_4 haben somit die H-Atome eine Oxidationszahl von +1 und die O-Atome von -1 [...] damit die Gesamtoxidationszahl gleich null ist, muss das P-Atom eine Oxidationszahl von +1 haben.“ → Fehlende Ladung, somit fachsprachlicher Fehler. Fachliche Fehler in den Oxidationszahlen werden als Folgefehler gezählt und nicht erneut gewertet.
- Wird ein Fachbegriff **einmalig** falsch geschrieben, wird dies als **Rechtschreibfehler** gezählt und nicht als fachsprachlicher Fehler. Wird ein Fachbegriff wiederholt falsch geschrieben, wird dies als fachsprachlicher Fehler gewertet.
Bsp. CLAPET04: „VSEPR-Theorie [...] VSEPR-Theorie [...]“
- Verwendung inkorrekt Reaktionspfeile (z.B. unidirektionaler Pfeil oder Mesomeriepfeil anstelle von Gleichgewichtspfeil) werden als fachsprachliche Fehler gewertet.
Bsp. CLAPET04 (Säure/Base): „Base + H_2O ↔ Säure + OH^- “ → Mesomerie-Pfeil fachsprachlich falsch
- Verwechslung von Atomen und Molekülen werden als fachsprachlichen Fehler gewertet
Bsp. CLAPET04 (VSEPR): „Das $NaCl_5$ -Molekül besitzt demnach 4 Bindungspartner am Stickstoffmolekül“
- Fachsprachliche Fehler in der fehlerhaften Trennung der Stoff-/Teilchenebene werden hier nicht gewertet, da sie in der Kategorie 2.8 *Stoff-/Teilchenebene* berücksichtigt werden.
- Anthropomorphe oder teleologische Formulierungen werden hier nicht gewertet, da sie in Kategorie 3.4 *Anthropomorphe und teleologische Formulierungen* berücksichtigt werden.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015*
- *Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

2.3 Fachliche Korrektheit bezogen auf die Aufgaben

Erkenntnisinteresse: Wie viele fachliche oder fachsprachliche Fehler befinden sich in den Aufgabenbearbeitungen?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der vier Ausprägungen.

Beschreibung:

Der Lerngegenstand sollte in den Ausführungen fachlich und fachsprachlich korrekt beschrieben werden. Der Lerngegenstand wird mithilfe von korrekten Fachbegriffen eingeführt und erklärt.

Bezogen auf die schriftlichen Erklärungen können beispielsweise folgende Fehler vorkommen:

- Reduktions- und Oxidationsmittel verwechselt
- Fehler beim Aufstellen der Redoxreaktion
- Inkorrekte Verwendung von Reaktionspfeilen
- Verwendung von „Hydronium-Ion“ anstelle von „Hydroxid-Ion“
- Inkorrekte Beschreibung oder Zeichnung von Molekülen nach der VSEPR-Theorie

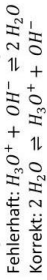
Code Ausprägung

77	In der schriftlichen Ausarbeitung wird keines der Aufgaben bearbeitet.
0	Die schriftliche Arbeit enthält mindestens sechs fachliche oder fachsprachliche Fehler/unsaubere Fachsprache.
1	Die schriftliche Arbeit enthält vier oder fünf fachliche oder fachsprachliche Fehler/unsaubere Fachsprache.
2	Die schriftliche Arbeit enthält drei fachliche oder fachsprachliche Fehler/unsaubere Fachsprache.
3	Die schriftliche Arbeit enthält höchstens einen fachlichen oder fachsprachlichen Fehler/unsaubere Fachsprache.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Fachliche und fachsprachliche Fehler suchen und zählen.
- Unterscheidung zur Kategorie 2.2 *Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt*: Hier werden die Fehler in den Ausarbeitungen bezogen auf die Aufgabenstellung gezählt.
- Befindet sich ein fachlicher Fehler sowohl in der inhaltlichen Ausführung als auch in der Bearbeitung der Aufgabenstellung, wird der Fehler als Wiederholungsfehler gewertet und nur in der Kategorie, in der es zuerst vorkommt, gewertet.
Bsp. CLAPET04 (VSEPR)
Inhalt: „Zusätzlich gilt, dass Doppelbindungen einen **kleineren** Bindungswinkel besitzen als Einfachbindungen.“
Aufgabe: „Die Bindung zum Sauerstoffatom ist eine Doppelbindung, besitzt deshalb einen **kleineren** Winkel als eine Einfachbindung [...].“
- Fachlicher Fehler wird **nur** in der Kategorie 2.2 einmalig gewertet.
- Ein wiederholter fachlicher bzw. fachsprachlicher Fehler wird nur einmal gezählt, auch wenn er an unterschiedlichen Stellen der Ausführung zu finden ist.
- Fachliche Fehler werden in diesem Kodiermanual als fachliche Konzepte, welche falsch erklärt oder falsch eingesetzt werden, definiert.
- Ein fachsprachlicher Fehler oder unsaubere Fachsprache findet sich, wenn ein Fachbegriff falsch eingesetzt wird oder ein Fehler im fachlichen Ausdruck vorhanden ist.
- Fehler in Konzepten Bsp. PINSESR08 (VSEPR): „Außerdem hat PF_3 3 Fluoratom als Bindungspartner“
→ fachlicher Fehler, da Fehler im Konzept der Bindungspartner als Teil der VSEPR-Theorie

- Wird bei dem Thema Säuren und Basen die Autoprotolysereaktion so formuliert, dass sie nicht zur dargestellten Massenwirkungskonstante passt, wird dies als fachlicher Fehler gewertet.



- Wird bei dem Thema Säuren und Basen der pOH-Wert genannt, wenn nach dem pH-Wert gefragt ist, wird dies als fachlicher Fehler gewertet.
- Fehlende Einheiten werden als fachsprachlichen Fehler gewertet.
- Bezeichnung eines Protons (H⁺) als Oxoniumion wird als fachsprachlichen Fehler gewertet.
- Fehler in Summen- oder Strukturformeln werden als fachsprachlichen Fehler gewertet.
Bsp. CLAPET04 (Redox): „Bei H_2PO_4 haben somit die H-Atome eine Oxidationszahl von +1 und die O-Atome von -1 [...] damit die Gesamtoxidationszahl gleich null ist, muss das P-Atom eine Oxidationszahl von +VI haben.“ → Fehlende Ladung, somit fachsprachlicher Fehler. Fachliche Fehler in den Oxidationszahlen werden als Folgefehler gezählt und nicht erneut gewertet.
- Wird ein Fachbegriff **einmalig** falsch geschrieben, wird dies als **Rechtsschreibfehler** gezählt und nicht als fachsprachlicher Fehler. Wird ein Fachbegriff wiederholt falsch geschrieben, wird dies als fachsprachlicher Fehler gewertet.
Bsp. CLAPET04: „VESPR-Theorie [...] VSEPR-Theorie [...]“
- Verwendung inkorrekt Reaktionspfeile (z.B. unidirektionaler Pfeil oder Mesomeriepfeil anstelle von Gleichgewichtspfeil) werden als fachsprachliche Fehler gewertet.
Bsp. CLAPET04 (Säure/Base): „Base + $H_2O \leftrightarrow$ Säure + OH^- “ → Mesomerie-Pfeil fachsprachlich falsch
- Verwechslung von Atomen und Molekülen werden als fachsprachlichen Fehler gewertet
Bsp. CLAPET04 (VSEPR): „Das NCI_5 -Molekül besitzt demnach 4 Bindungspartner am Stickstoffmolekül“
- Fehlerhafte Trennungen der Stoff-/Teilchenebene werden hier nicht gewertet, da sie in der Kategorie 2.8 *Stoff-/Teilchenebene* berücksichtigt werden.
- Anthropomorphe und teleologische Formulierungen werden hier nicht gewertet, da sie in Kategorie 3.4 *Anthropomorphe und teleologische Formulierungen* berücksichtigt werden.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015*
- *Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

2.5 Detailliertheit der Beschreibung (Tiefe)

Erkenntnisinteresse: Wie detailliert werden die neuen Konzepte, Regeln und Prinzipien erarbeitet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der drei Ausprägungen.

Beschreibung:
Lediglich das Erwähnen von Konzepten, Regeln und Prinzipien reicht nicht aus, um das Verständnis über diese abzubilden. Das genaue Ausarbeiten der Erklärung zu Grunde liegenden Facetten setzt das Verständnis der erklärenden Person über diese voraus. Die schriftliche Erklärung ist umso besser zu bewerten, je detaillierter die aufgeführten Konzepte, Regeln und Prinzipien beschrieben werden und auf diese explizit zurückgeführt wird.

Code	Ausprägung
77	<p>Neue Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien, die grundlegend für die Erklärung der Fragestellungen sind, werden nicht genannt. Es sind keine entsprechenden Ausarbeitungen zu folgenden Bereichen enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> VSEPR-Theorie: Konzept der VSEPR-Theorie zur Bestimmung der Struktur von Molekülen (Regel 1 & 2 zur Bestimmung von Molekülstrukturen); Konzept der VSEPR-Theorie zur Bestimmung des Bindungswinkels (Regel 3 & 4 zur Bestimmung des Bindungswinkels); Oktettregel Säure-Base-Chemie: Säure-Base-Konzept nach Brönsted-Lowry [Protonenübergang; Protonendonator, -akzeptor]; Allgemeine Gleichungen zur Bestimmung der pH-Werte verschiedener Lösungen [bsp. Zur Bestimmung des pH-Wertes einer starken Säure: $c(H^+) = c_0(HA)$; $pH = -\log(c(H^+))$]; Zusammenhang von Säuren und Basen zu Salzen Redoxchemie: Bedeutung von Redoxreaktionen [Expliziter Bezug zum Aufbau aus Reduktions-/Oxidationsteilgleichung]; Elektronenübergang; Elektronegativität <p>Neue Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien werden genannt, aber nicht beschrieben. → Bsp. „nach der VSEPR-Theorie hat das Molekül H_2O eine gewinkelte Struktur“.</p>
0	Höchstens ein/e Konzept, Regel bzw. Prinzip wird ausführlich beschrieben .
1	Höchstens zwei Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien werden ausführlich beschrieben .
2	Mindestens zwei Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien werden ausführlich beschrieben .

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Jedes genannte/beschriebene Konzept anhand der dargestellten Ausprägungen bewerten und zählen.
Hier wird die Detailliertheit der dargestellten Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien kodiert.
- Kodierbeispiele für Ausprägung 0:
DIAENR12 (Redox): „Dem **elektronegativeren** Partner wird das Bindungselektron zu[r]geordnet.“ → Fehlende Beschreibung, was Elektronegativität bedeutet.
CLAPET04 (Redox): „Da Chlor eine **höhere Elektronegativität** als der Wasserstoff hat, zieht er die Elektronen **stärker an**, für die Oxidationszahl wird somit das Valenzelektron des Wasserstoffs zum Chlor **hinzugezählt**. Dadurch hat Wasserstoff ein Elektron weniger als sonst und erhält die Oxidationszahl +1.“ → Fehlende Beschreibung, wie Elektronegativität definiert wird; Richtige Zuordnung der Elektronegativität zu den Bindungspartnern und Beschreibung, dass die elektronegativeren Partner Elektronen in der Bindung stärker anziehen.

Anmerkungen:

- Kategorienherkunft: Renkl, Hilbert, Schworm & Reiss (2007); Wittwer & Renkl (2008)
- Operationalisierung: Eigene Entwicklung

2.4 Konzepte, Regeln und Prinzipien (Breite)

Erkenntnisinteresse: Werden neue Konzepte, Regeln und Prinzipien erarbeitet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der drei Ausprägungen.

Beschreibung
Die Voraussetzung, um Problemstellungen in den Naturwissenschaften lösen zu können, ist ein grundlegendes Verständnis über das jeweilige Fachgebiet. Hierbei ist es notwendig, die zugrundeliegenden Konzepte sowohl zu identifizieren als auch zu verstehen (Wittwer & Renkl, 2008). Dies gilt beispielsweise für die Konzepte der VSEPR-Theorie und der Redoxchemie.

Für die Beherrschung von mathematischen Konzepten in der Chemie ist vor allem das Beachten von relevanten Prinzipien und Regeln von Bedeutung. Mathematisierte Problemstellungen erfordern zugleich das erfolgreiche Anwenden von prozeduralem Wissen (Renkl, Hilbert, Schworm & Reiss, 2007; Wittwer & Renkl, 2008). Beispiele für Mathematisierungen sind im Zusammenhang mit dem Themenbereich der Säuren und Basen wie die pH-Wert-Berechnungen zu finden.

Code	Ausprägung
0	<p>Höchstens ein neues Konzept, eine neue Regel bzw. ein neues Prinzip, das grundlegend für die Erklärung der Fragestellungen sind, wird aufgeführt. Dieses ist jedoch zum Verständnis der Aufgaben nicht vollständig. Es ist höchstens eine entsprechende Ausarbeitung zu den folgenden Bereichen enthalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> VSEPR-Theorie: Konzept der VSEPR-Theorie zur Bestimmung der Struktur von Molekülen; Konzept der VSEPR-Theorie zur Bestimmung des Bindungswinkels; Oktettregel Säure-Base-Chemie: Säure-Base-Konzept nach Brönsted-Lowry [Protonenübergang; Protonendonator, -akzeptor]; Allgemeine Gleichungen zur Bestimmung der pH-Werte verschiedener Lösungen [bsp. Zur Bestimmung des pH-Wertes einer starken Säure: $c(H^+) = c_0(HA)$; $pH = -\log(c(H^+))$]; Zusammenhang von Salzen zu Säuren/Basen und pH-Wert Redoxchemie: Bedeutung von Redoxreaktionen [Expliziter Bezug zum Aufbau aus Reduktions-/Oxidationsteilgleichung]; Elektronenübergang; Elektronegativität
1	Zwei Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien werden vollständig genannt bzw. beschrieben . Die Aufgaben können anhand der beschriebenen Konzepte verstanden werden.
2	Mindestens drei Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien werden vollständig genannt bzw. beschrieben . Die Aufgaben können anhand der beschriebenen Konzepte verstanden werden.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Konzepte, Regeln bzw. Prinzipien, die zum Verständnis der Aufgabe nötig sind, suchen und zählen. Hier reichen auch die Benennung oder die Beschreibung des Konzeptes aus.
- Hier wird nicht die Detailliertheit und Qualität der Beschreibungen kodiert, sondern die Anzahl der beschriebenen/genannten Konzepte, Regeln und Prinzipien.

Anmerkungen:

- Kategorienherkunft: Renkl, Hilbert, Schworm & Reiss (2007); Wittwer & Renkl (2008)
- Operationalisierung: Eigene Entwicklung

2.6 Passende Fachbegriffe (Breite)

Erkenntnisinteresse: Werden Fachbegriffe, die für die Erklärung notwendig sind, verwendet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung:

Ein Bestandteil der naturwissenschaftlichen Grundbildung ist das Verständnis über Fachsprache und ihre korrekte Verwendung (Rincke, 2010). Zudem geht der Erwerb von Fachsprache eng mit dem Erwerb von Fachwissen einher (Heinze, 2022; Höttecke et al., 2017). Die Verwendung von Fachbegriffen ist Teil der Sprachkompetenz.

Code	Ausprägung
0	Es werden höchstens zwei der Fachbegriffe verwendet, die für die Erklärung notwendig sind.
1	Es werden drei der Fachbegriffe verwendet, die für die Erklärung notwendig sind.
2	Es werden mindestens vier der Fachbegriffe verwendet, die für die Erklärung notwendig sind.

Hinweise:

- Die für die Erklärung notwendigen Fachbegriffe sind thematisch gegliedert folgende:
 - VSEPR-Theorie: Molekülstruktur, Pseudostruktur, Elektronegativität, Elektronenpaarabstoßung, Valenzstrichformel/Lewis-Formel
 - Säure-Base-Chemie: Protonendonator & Protonenakzeptor, Hydroxid-Ion & Oxonium-Ion, korrespondierende Säure-Base-Paare, Gleichgewichtsreaktion; pKs bzw. Säurekonstante
 - Redoxchemie: Oxidation & Reduktion, Oxidationsmittel & Reduktionsmittel, Redoxpaar, Ladungsausgleich, Stoffausgleich
 - Vorgehen beim Kodieren: Die für die Erklärung notwendigen Fachbegriffe zählen.
 - Es werden auch Adjektive anstelle des Nomens gewertet (*elektronegat*iv anstelle von *Elektronegativität*)
 - Synonyme zu den Begriffen werden auch gewertet (*Oxonium-Ion* bzw. *Hydronium-Ion*)
 - „Ks“ anstelle der „Säurekonstante“ wird nicht gewertet.
 - Die Summenformeln „H₃O⁺“ bzw. „OH⁻“ anstelle von Oxonium-Ion bzw. Hydroxid-Ion werden nicht gewertet.
 - Umschreibungen der Fachbegriffe werden gewertet, wenn sie nah genug an den angeforderten Begriffen sind (*korrespondierend* anstelle *korrespondierendes Säure-Base-Paar*)
 - Protonendonator & Protonenakzeptor bedingen sich gegenseitig; die Begriffe werden nur gewertet, wenn beide genannt werden. Sie zählen als **ein** Fachbegriff. Dasselbe gilt für Hydroxid-Ion & Oxonium-Ion, Oxidation & Reduktion, Oxidationsmittel & Reduktionsmittel.

Anmerkungen:

- Kategorienherkunft: Heinze, 2022; Rincke, 2010
- Operationalisierung: Eigene Herkunft

2.7 Definition der Fachbegriffe (Tiefe)

Erkenntnisinteresse: Wie detailliert werden die Fachbegriffe definiert und im Kontext eingebunden?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung:

Das Verwenden von Fachbegriffen allein spiegelt nicht die Sprachkompetenz im Erklären wider. Stattdessen sollten neue Fachbegriffe in die Erklärung eingeführt und in diese eingebunden werden (Heinze, 2022).

Code	Ausprägung
0	Es wird keines der Fachbegriffe vollständig definiert und im Kontext eingebunden.
1	Es wird mindestens eines und höchstens zwei der Fachbegriffe vollständig definiert und im Kontext eingebunden.
2	Es werden mindestens drei der Fachbegriffe vollständig definiert und im Kontext eingebunden.

Hinweise:

- Es werden nur die Fachbegriffe aus der Kategorie 2.6 *Passende Fachbegriffe (Breite)* gewertet:
 - VSEPR-Theorie: Molekülstruktur, Pseudostruktur, Elektronegativität, Elektronenpaarabstoßung, Valenzstrichformel/Lewis-Formel
 - Säure-Base-Chemie: Protonendonator & Protonenakzeptor, Hydroxid-Ion & Oxonium-Ion, korrespondierende Säure-Base-Paare, Gleichgewichtsreaktion; pKs bzw. Säurekonstante
 - Redoxchemie: Oxidation & Reduktion, Oxidationsmittel & Reduktionsmittel, Redoxpaar, Ladungsausgleich, Stoffausgleich
 - Vorgehen beim Kodieren: Jeden Fachbegriff anhand der dargestellten Ausprägungen bewerten.
 - Hier wird die Detailliertheit der dargestellten Fachbegriffe kodiert.
 - Werden Fachbegriffe definiert, aber nicht in den Kontext eingebunden, werden sie nicht gewertet.
 - Bsp. für die Verwendung eines Fachbegriffes, welches nicht definiert und nicht im Kontext eingebunden ist: DIAENR12 (VSEPR) „Wasserstoff verfügt über einen **Elektronegativitätswert** von 2,2. [...] Der Bindungspartner mit dem höchsten Elektronegativitätswert verfügt über den **kleinsten Bindungswinkel**.“
 - Protonendonator & Protonenakzeptor bedingen sich gegenseitig; die Begriffe werden nur gewertet, wenn beide definiert und in den Kontext eingebunden werden. Sie zählen als **ein** Fachbegriff. Dasselbe gilt für Hydroxid-Ion & Oxonium-Ion, Oxidation & Reduktion, Oxidationsmittel & Reduktionsmittel.

Anmerkungen:

- Kategorienherkunft: Heinze, 2022
- Operationalisierung: Adaptiert nach Reimer & Tepner (2025)

2.8 Stoff-/Teilchenebene

Erkenntnisinteresse: Werden Stoff- und Teilchenebene korrekt getrennt?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:

Der Aufbau chemischer Erklärungen in Lehr-Lernumgebungen wird meist durch das Aufzeigen kausaler Zusammenhänge zwischen Phänomenen auf Stoffebene und den entsprechenden Prozessen auf Teilchenebene gekennzeichnet (Geelan, 2012). Voraussetzung für eine korrekte Erklärung von chemischen Sachverhalten ist jedoch eine klare Trennung zwischen der Stoff- und der Teilchenebene (Sommer et al., 2019).

Bezogen auf die schriftlichen Erklärungen können beispielsweise folgende Fehler vorkommen:

- Einsatz von Stoffen anstelle von Molekülen/Atomen/Ionen
- Elektronegativität wird auf Stoffe bezogen
- Oxidationszahlen werden auf Stoffe bezogen

Code Ausprägung

0	Stoff-/Teilchenebene werden mindestens zweimal nicht getrennt.
1	Stoff-/Teilchenebene werden höchstens einmal nicht getrennt.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es werden Fehler in der Trennung der Stoff-/Teilchenebene gezählt.
- Fehler in der Trennung der Stoff-/Teilchenebene zählen zu den fachsprachlichen Fehlern. Diese werden jedoch nicht in den Kategorien 2.2 *Fachliche Korrektheit bezogen auf den Inhalt* und 2.3 *Fachliche Korrektheit bezogen auf die Aufgaben* kodiert, sondern in dieser Kategorie separat gewertet.
- Stoffausgleich bei Redoxreaktionen erfolgt mit „Wasser“ anstelle von „Wassermolekülen“. Bsp. *DIAENRZ (Redox)*: „Des Weiteren erfolgt ein Stoffausgleich mit **Wasser** [...]“
Diese Aussage stellt somit keinen Fehler in der Trennung der Stoff-/Teilchenebene dar. Demgegenüber wäre in diesem Fall die Verwendung der Teilchenebene als Fehler zu werten.
- Elektronegativität bezieht sich auf Atome und nicht auf den Stoff.
Bsp. *CLAPET04 (Redox)*: „Da **Chlor** eine höhere Elektronegativität als der **Wasserstoff** hat, zieht er die Elektronen stärker an [...]“
Korrekt wäre es hier, die EN auf „Chloratome“ und „Wasserstoffatome“ zu beziehen.
Bsp. *PINSE08 (VSEPR)*: „**Fluor** ist das elektronegativste Atom“
Vermischte Stoff-/Teilchenebene beim Fluor-Atom.
- Oxidationszahlen beziehen sich auf Atome und nicht den Stoff.
Bsp. *CLAPET04 (Redox)*: „Für **MgCl₂** hat **Magnesium** [...] die Oxidationszahl +II.“
Korrekt wäre es hier, die Oxidationszahl auf das „Magnesiumatom“ zu beziehen.
- Wenn anstelle des Atommens (bsp. Sauerstoffatom) das Symbolzeichen genutzt wird (bsp. O) wird dies bei der Bestimmung der Oxidationszahlen nicht als Fehler gewertet.
- Tritt derselbe Fehler in der Trennung der Stoff-/Teilchenebene wiederholt nur in Bezug auf andere Teilchen auf, wird dies als Wiederholungsfehler angesehen und nicht erneut als Fehler gewertet.
Bsp.: „Da **Chlor** eine höhere Elektronegativität als der **Wasserstoff** hat, zieht er die Elektronen stärker an [...]“ → Es wurde die Stoff-/Teilchenebene in Bezug auf Chloratome und Wasserstoffatome verwechselt. Es wird jedoch nur als einen Fehler gewertet.

Anmerkungen:

- *Kategorienherkunft: Geelan, 2012*
- *Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

3. Adressatenorientierung

3.1 Vorwissen

Erkenntnisinteresse: Ist die Erklärung an das Vorwissen der Adressaten adaptiert?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:

Die in einer Erklärung beinhalteten Informationen werden dann von Rezipienten zusammenhängend konstruiert, wenn ihr Vorwissen berücksichtigt wird und die Erklärung an ihren Wissensstand anknüpft. Die solche Anpassung an das Vorwissen der Adressaten ist eine Voraussetzung für die effektive Wirksamkeit einer Erklärung (Kulgemeyer, 2020; Leinhardt & Steele, 2005; Wittwer & Renkl, 2008). Andernfalls kann ein bestehendes Wissensdefizit zu Verständnisschwierigkeiten führen.

Code	Ausprägung
0	Das Vorwissen wird in mindestens zwei Abschnitte der Erklärung nicht berücksichtigt.
1	Das Vorwissen wird höchstens einem Abschnitt nicht berücksichtigt.

Hinweise:

- Die Adressaten, an die die Erklärung Fall gerichtet ist, sind Erstsemesterstudierende im Fach Chemie. Sie besuchen die Vorlesungen Analytische und Anorganische Chemie. Die Inhalte aus den Vorlesungen werden somit als Voraussetzung gewertet.
- In dieser Kategorie werden Erklärabschnitte gewertet, die das Vorwissen der Adressaten nicht berücksichtigen und dadurch Wissenslücken bestanden bleiben.
- Hier werden keine Verknüpfungen von neuem mit bestehendem Wissen gewertet, sondern es wird lediglich die fehlende bzw. vorhandene Komplexitätsreduktion gewertet. Die Elaboration wird in Kategorie 3.2 *Elaboration* kodiert.
- Erklärabschnitte, die nicht an dem Wissensstand anknüpfen, da sie zu leicht sind, werden nicht in dieser Kategorie, sondern in der Kategorie 3.3 *Beschränkung auf wesentliche Informationen* gewertet.

Anmerkungen:

- Kategorienherkunft: Kulgemeyer (2020); Leinhardt & Steele (2005); Wittwer & Renkl (2008)*
- Operationalisierung: Eigene Entwicklung*

3.2 Elaboration

Erkenntnisinteresse: Wird das neue Wissen der Adressaten mit ihrem bereits vorhandenen Wissen verknüpft?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:

Um eine Erklärung effektiv zu gestalten, sollte sie an das bestehende Wissen des Lernenden adaptiert werden (Wittwer & Renkl, 2008). Sowohl sprachliche als auch inhaltliche Anpassungen an das Vorwissen, ermöglichen eine Vernetzung von neuem mit vorhandenem Wissen (Heinze, 2022; Wittwer & Renkl, 2008). Eine explizite Verknüpfung zwischen vorhandenem und neuem Wissen kann das Lernen erleichtern.

Code	Ausprägung
0	Neues Wissen wird nicht mit dem Vorwissen verknüpft.
1	Pro Erklärung finden eine oder zwei Verknüpfungen von neuem Wissen mit dem Vorwissen statt.
2	Pro Erklärung findet an mindestens drei Stellen eine Verknüpfung von neuem Wissen mit dem Vorwissen statt.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Nach Verknüpfungen zwischen Vorwissen und neuem Wissen suchen und zählen. Es muss dabei ein Bezug zwischen Vorwissen und neuem Wissen bestehen.
- Hier werden nur **Verknüpfungen** zwischen Vorwissen und neuem Wissen gewertet.
- Beispiele für **keine** Verknüpfung:
 - DIAENR12 (Redox): „Als nächstes müssen die Ladungen ausgeglichen werden. *Achtung! In sauren, wässrigen Lösungen mit Hydronium-Ionen und in basischen wässrigen Lösungen mit Hydroxid-Ionen.*“ → Dass in sauren, wässrigen Lösungen mit Oxonium-Ionen ausgeglichen wird und in basischen, wässrigen Lösungen mit Hydroxid-Ionen ist **neues Wissen**, auch wenn Hydroxid-Ionen und Oxonium-Ionen bekannt sind. Es wird kein Vorwissen mit neuem Wissen verknüpft.
 - BETIOS09 (VSEPR): „Um auf die Valenzstrichformel, die sog. Lewis-Formel zu kommen, muss man die kovalenten Bindungen, also die Bindungspaare, aber auch die freien Elektronenpaare beachten. *Wird hier alles richtig beachtet, erhält man die zweidimensionale Struktur einer kovalenten Verbindung.*“ → Valenzstrichformel wird nicht als Vorwissen angesehen, sondern als **neues Wissen**. Verknüpfung zur VSEPR-Theorie stellt somit keine Elaboration dar.
 - BETIOS09 (VSEPR): „Untersucht man nun zusätzlich noch die Bindungswinkel der Moleküle, fällt auf, dass die Raumerfüllung der bindenden Elektronenpaarbindungen mit steigender Elektronegativität des Bindungspartners abnimmt.“ → Dass die Raumerfüllung mit steigender Elektronegativität des Bindungspartners abnimmt, ist **neues Wissen**, auch wenn Elektronegativität bekannt ist. Es findet keine Elaboration statt.
 - BETIOS09 (Redox): „Hier gibt es die Regel, dass Alkalimetalle immer die Oxidationszahl +1 besitzen.“ → Dass Alkalimetalle die Oxidationszahl +1 haben, ist neues Wissen → Keine Elaboration
 - KATTOB07 (Redox): „Wir erinnern uns: Die Oxidationszahl wird benötigt, um Teilgleichungen der Reaktion richtig aufzustellen.“ → Bezug auf neues Wissen, das zu Beginn der Ausarbeitung genannt wurde.

3.3 Beschränkung auf wesentliche Informationen

Erkenntnisinteresse: Ist die Erklärung auf das Wesentliche beschränkt oder werden zu viele Einzelheiten aufgeführt?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in eine der drei Ausprägungen.

Beschreibung: Irrelevante Details in einer Erklärung führen nach der Cognitive Load Theory zu einer Auslastung der kognitiven Kapazitäten, da diese für die Verarbeitung bekannter Informationen verwendet werden, anstatt für den Aufbau neuer Wissensstrukturen mithilfe der wesentlichen Informationen zur Verfügung zu stehen (Wittwer & Renkl, 2008). Um dies zu vermeiden, sollte sich die Erklärung sich auf die relevanten Informationen beschränken und Abschweifungen sollten umgangen werden (Kulgemeyer, 2020; Mayer, 2001).

Code	Ausprägung
77	Ausarbeitung zu knapp, um Ausschweifungen zu identifizieren. Länge der Erklärung unter 100 Wörtern.
0	Die Erklärung beschränkt sich selten auf die wesentlichen Informationen und verliert sich mindestens zweimal in Details.
1	Die Erklärung beschränkt sich meistens auf die wesentlichen Informationen und verliert sich höchstens einmal in Details.
2	Die Erklärung beschränkt sich durchweg auf die wesentlichen Informationen.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es werden die unnötigen Aspekte der schriftlichen Ausarbeitung gezählt.
- Zu unnötigen Aspekte zählen:
 - Informationen, die für die eigentliche Erklärung nicht relevant sind
 - Erklärabschnitte wiederholen sich, d.h. bereits erklärtes wird erneut ausführlich erklärt
 - zu viele unnötige Fachbegriffe werden verwendet
- Eine Einführung in das Thema zu Beginn der Ausarbeitung wird nicht als unnötig betrachtet.
- Textstellen, die über mehrere Sätze hinweg zu detailliert sind, werden nur einmal gezählt. Werden innerhalb eines Abschnitts der Erklärung mehrere Aspekte zu ausführlich beschrieben, werden diese jeweils als einzelnen Fehler gewertet.
- Beispiel für unnötige Fachbegriffe:
 - CHROTT07 (VSEPR): „CH₂O gehört zu den Aldehyden, hat 3 Bindungspartner und kein freies Elektronenpaar“ → Fachbegriff „Aldehyd“ nicht relevant.
 - CHROTT07 (VSEPR): „CO₂ eine lineare Form und ist ein nicht polares Molekül“ → Fachbegriff „polar“ nicht relevant.
- Beispiel für Wiederholung:
 - CHROTT07 (Redox): „[...] bei Ionen entspricht die Oxidationszahl der Ionenladung [...] Atom-Ionen haben eine Oxidationszahl, die der Ionenladung entspricht“.

Anmerkungen:

- **Kategorienherkunft:** Kulgemeyer, 2020; Mayer, 2001; Wittwer & Renkl, 2008
- **Operationalisierung:** Eigene Entwicklung

• Beispiele für **Elaboration:**

- DIAENR12 (VSEPR): „Zuerst schauen wir uns die Valenzelektronenzahl der Elemente an. Dabei wird deutlich, dass sich am Zentralatom Kohlenstoff 4 Bindungselektronen befinden.“ → Verknüpfung Vorwissen Valenzelektronen und Molekülstruktur.
- MONJOH05 (VSEPR): „Da Fluor das elektronenaktivste Element ist, zieht es die Elektronen am stärksten an sich. Mit abnehmender Elektronegativität wird dieser Effekt geringer und dadurch der Bindungswinkel größer.“ → Verknüpfung Vorwissen (Fluor ist elektronegativste Element) mit neuem Wissen (mit abnehmender Elektronegativität der Bindungspartner steigt der Bindungswinkel)
- MIRGER01 (VSEPR): „Zur Anordnung der einzelnen Atome ist es hilfreich sich zu Beginn die LEWIS-Formel eines Moleküls aufzuzeichnen, um dann in das VSEPR-Modell überzugehen → Verknüpfung Vorwissen (Lewis-Formel) mit neuem Wissen (VSEPR-Modell).
- RENGRO9 (Redox): „Da Magnesium ein Erdalkalimetall ist, besitzt es die OZ +II“

- Der **Thematik der Ausarbeitung** vorausgehende **Vorlesungsinhalte** werden als **Vorwissen** angesehen.
- Unterscheidung zur Kategorie 3.1 Vorwissen: In Kategorie 3.2 werden explizite Verknüpfungen von Vorwissen mit neuem Wissen gewertet. Das Beachten bzw. Nicht-Beachten von Vorwissen wird in Kategorie 3.1 gewertet.

Anmerkungen:

- **Kategorienherkunft:** Wittwer & Renkl, 2008
- **Operationalisierung:** Eigene Entwicklung

3.4 Anthropomorphe und teleologische Formulierungen

Erkenntnisinteresse: Werden anthropomorphe und teleologische Formulierungen verwendet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung:

Anthropomorphismen werden häufig zur Vereinfachung bzw. Veranschaulichung von chemischen Sachverhalten eingesetzt, vor allem bei Prozessen auf der submikroskopischen Ebene (Sommer et al., 2019). Dabei handelt es sich um die Übertragung von menschlichen Eigenschaften und Verhaltensweisen auf unbelebte Dinge (z.B.: „Säuren fressen Metalle auf“ (Barke et al., 2018, S. 263)). Teleologische Formulierungen beschreiben zielgerichtete Prozesse (z.B.: „Atome wollen eine Verbindung eingehen.“).

Der Einsatz von anthropomorphen oder teleologischen Formulierungen kann jedoch die Entstehung von Fehlvorstellungen generieren oder die eigenen Fehlvorstellungen widerspiegeln. Dies liegt darin begründet, dass unklar ist, ob den Lernenden das korrekte wissenschaftliche Konzept hinter der Formulierung bewusst ist oder ob sie die Formulierung als tatsächliches Phänomen ansehen (Geelan, 2012). Dem bewussten Einsatz von Anthropomorphismus und Teleologie wird jedoch ein wertvoller Beitrag naturwissenschaftlicher Erklärungen beigegeben (Treagust & Harrison, 1999).

Code **Ausprägung**

- 0 Anthropomorphe und teleologische Formulierungen werden **mindestens einmal** verwendet.
- 1 Es werden **keine** anthropomorphen und teleologischen Formulierungen verwendet.

Hinweise:

- Vorgehen beim Kodieren: Es wird jede anthropomorphe und teleologische Formulierung gezählt, auch wenn die gleiche mehrfach vorkommt.
- CHROTT07 (Redox): „Schwefel hat in diesem Molekül sechs Elektronen verloren, um eine Oxidationszahl von +6 zu erhalten.“ → Sowohl anthropomorphe als auch teleologische Formulierung enthalten.
- Handelt es sich um eine anthropomorphe Formulierung, die keine Fehlvorstellung fördert, wird diese nicht gewertet:
RAMROB04 (Redox): „Kalium hat die Oxidationszahl +1, da es in der erste. Hauptgruppe sitzt“
→ „sitzen“ ist eine anthropomorphe Formulierung. Es wird jedoch keine Fehlvorstellung gefördert, sodass es nicht gewertet wird.

Anmerkungen:

- **Kategorienherkunft:** Treagust & Harrison, 1999; Talanquer, 2007
- **Operationalisierung:** Adaptiert nach Reimer & Tjepner (2025)

Literaturverzeichnis

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Aufl.). Springer.

Brown, G. A. (2006). Explaining. In O. Hargie (Hrsg.), *The handbook of communication skills* (S. 195–228). Taylor & Francis.

Geelan, D. (2012). Teacher Explanations. In B. J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.). *Springer international handbooks of education: Bd. 24. Second international handbook of science education* (S. 987–999). Springer.

Heinze, J. (2022). *Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 344*. Logos Verlag.

Höttecke, D., Ehmke, T., Krieger, C. & Kulik, M. A. (2017). Vergleichende Messung fachsprachlicher Fähigkeiten in den Domänen Physik und Sport. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 53–69.

Kattmann, U. (2003). „Vom Blatt zum Planeten“ – Scientific Literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht und darüber hinaus. In B. Moschner, H. Kiper & U. Kattmann (Hrsg.), *PISA 2000 als Herausforderung: Perspektiven für Lehren und Lernen* (S. 115–138). Schneider-Verlag Hohengehen.

Kulgemeyer, C. (2020). Erklären im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik: Grundlagen* (4. Auflage, S. 403–426). Springer.

Kulgemeyer, C. & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären – Messung der Erklärfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 111–126.

Leinhardt, G. & Steele, M. D. (2005). Seeing the Complexity of Standing to the Side: Instructional Dialogues. *Cognition and Instruction*, 23(1), 87–163.

Prediger, S. & Erath, K. (2014). Content, Interaction, or Both? Synthesizing Two German Traditions in a Video Study on Learning to Explain in Mathematics Classroom Microcultures. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 40(4), 313–327.

Reimer, S. & Tjepner, O. (2025). Förderung der adaptiven Erklärkompetenz angehender Chemielehrkräfte durch Reflexion videografierter adaptiver Erklärhandlungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 31(1).

Renk, A., Hilbert, T. S., Schworm, S. & Reiss, K. (2007). Cognitive skill acquisition from complex examples: A taxonomy of examples and tentative instructional guidelines. In M. Prenzel (Hrsg.), *Studies on the educational quality of schools: The final report on the DFG Priority Programme* (S. 239–249). Waxmann.

Rincke, K. (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, (16), 235–260.

Schopf, C. & Zwischenbrunner, A. (2015). Verständliche Erklärungen im Wirtschaftsunterricht: Eine Heuristik basierend auf dem Verständnis der Fachdidaktiker/innen des Wiener Lehrstuhls für Wirtschaftspädagogik. *Zeitschrift für ökonomische Bildung*, 3, 1–31.

Seiler, F. (2021). *Entwicklung und Evaluation eines Seminarformats zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie. Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 320*. Logos.

- Sommer, K. A., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P. (Hrsg.). (2019). *Unterricht Chemie. Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (2. Aufl.). Aulis.
- Talanquer, V. (2007). Explanations and Teleology in Chemistry Education. *International Journal of Science Education*, 29(7), 853–870.
- Treagust, D. & Harrison, A. (1999). The Genesis of Effective Scientific Explanations for the Classroom. In J. Loughran (Hrsg.), *Researching Teaching: Methodologies and Practices for Understanding Pedagogy* (S. 28–43). Routledge.
- Wagner, A. & Wörn, C. (2011). *Erklären lernen - Mathematik verstehen: Ein Praxisbuch mit Lernangeboten* (1. Aufl.). Klett Kallmeyer.
- Wittwer, J. & Renkl, A. (2008). Why Instructional Explanations Often Do Not Work: A Framework for Understanding the Effectiveness of Instructional Explanations. *Educational Psychologist*, 43(1), 49–64.

11.4 Evaluation der Pilotstudie

Tabelle 11-1: Anmerkungen zu technischen, fachlichen und didaktischen Schwierigkeiten

Anmerkungen zu technischen, fachlichen oder didaktischen Schwierigkeiten beim Erstellen des Video-Modeling-Examples

Komprimieren des Videos, um es auf Grips hochstellen zu können und dadurch Verlust der Qualität.

Aufnahme bei Powerpoint war mittelmäßig, evtl nächstes Jahr andere Alternative vorstellen

Wissensstand der Zielgruppe war nicht eindeutig: Was muss ich noch erklären, was kann ich bereits voraussetzen?

Teampartner hat leider keinerlei Interesse gezeigt, weswegen ich das Video alleine erstellen musste. Deswegen hat mich das leider sehr sehr viel Zeit gekostet.

Zusammenarbeit erschwert aufgrund von Covid19-Infektion des Partners

Tabelle 11-2: Anmerkungen zum Video-Modeling-Example

Anmerkungen zum Erstellen des Video-Modeling-Examples

Schrittweise Aufstellung von Redoxreaktionen im video modeling example gut zu erklären

Die Aufgaben passen zum Stoff des ersten Semesters sind also als peer to peer Tutorial für Studenten aus dem 2. Semester gut geeignet

Mit grundlegendem Wissen sind die Aufgaben gut zu bearbeiten, das erklären im Video funktionierte mithilfe von Gleichungen, Bilder, etc. sehr gut, was hilft eventuelle Wissenslücken zu schließen bzw. die Möglichkeit gibt das Thema trotzdem zu verstehen

Ich finde, dass das Thema Redox eher unpassend für ein video-modeling-example war, da es bei den Aufgaben nicht wirklich Lösungsschritte gibt, die man der Reihe nach abarbeiten konnte. Es wird eher viel Theorie „heruntergerattert“ und so werden die Aufgaben gelöst. Dies ist aber auch bei einem normalen Erklärvideo der Fall.

Ich fände die fragen sehr spezifisch. Sie haben wenig Spielraum für Kreativität in der Videogestaltung gegeben

Das VSEPR-Modell folgt bestimmten Regeln, die damit gut erklärt werden können. Besonders durch Animationen und Illustrationen. Allerdings gibt es viele Ausnahmefälle, die nicht untergebracht werden können.

Da es eher um die didaktischen Aspekte geht, würde ich das fachliche Niveau der Aufgaben nicht erhöhen. Die Aufgabenbeispiele waren gut zu veranschaulichen und auditiv zu erklären.

Tabelle 11-3: Anmerkungen zum Fachwissenstest

Anmerkungen zum Fachwissenstest

Da es eher um die didaktischen Aspekte geht, würde ich das fachliche Niveau der Aufgaben nicht erhöhen. Die Aufgabenbeispiele waren gut zu veranschaulichen und auditiv zu erklären.

Er war anspruchsvoll

Aufgabenblöcke gegliedert nach Themen, Aufgaben teilweise anspruchsvoll aber machbar (mit Ausnahmen)

Es war gleichzeitig eine Wiederholung bzw. Auffrischung von dem Wissen aus der Allgemeine Chemie vom 1. Semester.

Eindeutige Fragen man wusste genau was man machen musste.

Dass ich alles nochmal wiederholen konnte, vielfältige Aufgaben

Fragen aus vielen Feldern, Wiederholung des Gelernten

Gute Auswahl der Aufgaben, von allem etwas dabei

Manche Beispiele bei den Molekülstrukturen waren evtl zu schwer, wenn man best. Vorlesungen an der Uni noch nicht besucht hat

Die Zeit zur Bearbeitung sollte klarer sein, d.h. vorher bescheid sagen wie lange man Zeit hat und Zwischenzeiten ansagen

Themenblöcke in keiner ersichtlichen Reihenfolge, Gliederung am Anfang zu Themen für bessere Orientierung (Frage 1-3: ... Frage 4-7: ...)

Die Fragen waren teilweise schwieriger als die Fragen der Modulklausur der Allgemeine Chemie Vorlesung.

Viel zu viele Fragen.

Anpassung an den individuellen Kenntnisstand der Teilnehmer

Weniger Aufgaben, angemessenere Zeit

11.5 Detaillierte Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie

Tabelle 11-4: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 1 – Prozentuale Werte

Gruppe	B.Sc.	KG	IG_VF	IG_EF	IG_VS	IG_EF
<i>N</i>	79	45	17	14	17	14
<i>Alter M(SD)</i>	19.56 (1.54)	19.56 (1.33)	19.57 (1.28)	20.00 (2.00)	20.38 (2.53)	19.75 (1.36)
<i>Geschlecht</i>						
<i>w</i>	41.8 %	35.6 %	58.8 %	64.3 %	58.8 %	71.4 %
<i>m</i>	46.8 %	37.8 %	41.2 %	35.7 %	41.2 %	28.6 %
<i>Schulart</i>	-					
<i>GY</i>		42.2 %	52.9 %	85.7 %	94.1 %	78.6 %
<i>RS</i>		26.7 %	23.5 %	14.3 %	5.9 %	21.4 %
<i>MS</i>		2.2 %	-	-	-	-
<i>GS</i>		2.2 %	17.6 %	-	-	-
<i>Fächer</i>	-					
<i>B</i>		31.1 %	58.8 %	-	76.5 %	35.7 %
<i>M</i>		26.7 %	5.9 %	50.0 %	11.8 %	50.0 %
<i>E</i>		8.9 %	-	21.4 %	5.9 %	-
<i>P</i>		4.4 %	-	-	-	-
<i>Semester</i>	1.02 (0.15)	1.22 (0.67)	1.00 (0.00)	1.00 (0.00)	1.67 (1.41)	1.00 (0.00)
<i>Schulart</i>						
<i>GY</i>	74.7 %	51.1 %	64.7 %	71.4 %	52.9 %	42.9 %
<i>FB</i>	16.5 %	24.4 %	11.8 %	-	35.3 %	42.9 %
<i>Oberstufe</i>						
<i>Ja</i>	77.2 %	60.0 %	58.8 %	64.3 %	58.8 %	64.3 %
<i>Nein</i>	12.7 %	15.6 %	23.5 %	7.1 %	29.4 %	21.4 %
<i>Abitur</i>						
<i>Ja</i>	44.3 %	22.2 %	29.4 %	50.0 %	23.5 %	28.6 %
<i>Nein</i>	46.8 %	51.1 %	41.2 %	21.4 %	64.7 %	57.1 %
<i>Abiturnote</i>	1.86 (0.57)	2.21 (0.54)	1.86 (0.40)	1.59 (0.64)	2.18 (0.62)	1.92 (0.40)
<i>Ausbildung</i>						
<i>Ja</i>	12.7 %	-	11.8 %	7.1 %	-	14.3 %
<i>Nein</i>	78.5 %	75.6 %	70.6 %	64.3 %	88.2 %	71.4 %
<i>Studium</i>						
<i>Ja</i>	16.5 %	11.1 %	17.6 %	7.1 %	23.5 %	7.1 %
<i>Nein</i>	74.7 %	64.4 %	82.4 %	64.3 %	64.7 %	78.6 %
<i>Wunsch</i>						
<i>Ja</i>	75.9 %	68.9 %	70.6 %	57.1 %	82.4 %	85.7 %
<i>Nein</i>	11.4 %	6.7 %	11.8 %	14.3 %	5.9 %	14.3 %
<i>Vorkurs</i>	-					
<i>Ja</i>	2.5 %	4.4 %	29.4 %	7.1 %	17.6 %	21.4 %
<i>Nein</i>	5.1 %	15.6 %	23.5 %	57.1 %	36.3 %	21.4 %

Anmerkungen: B.Sc.: Bachelor of Science-Studierende, KG: Kontrollgruppe, IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Examples fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideos fremderstellt, IG_VS: Interventionsgruppe Video-Modeling-Examples selbsterstellt; IG_ES: Interventionsgruppe Erklärvideos selbsterstellt, w: weiblich, m: männlich, GY: Gymnasium, RS: Realschule, MS: Mittelschule, GS: Grundschule, FB: FOS/BOS, B: Biologie, M: Mathe, E: Englisch, P: Physik

Tabelle 11-5: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 1 – Absolute Werte

Gruppe	B.Sc.	KG	IG_VF	IG_EF	IG_VS	IG_ES
<i>N</i>	79	45	17	14	17	14
<i>Alter M(SD)</i>	19.56 (1.54)	19.56 (1.33)	19.57 (1.28)	20.00 (2.00)	20.38 (2.53)	19.75 (1.36)
<i>Geschlecht w/m</i>	33/37	16/17	10/7	9/5	10/7	10/4
<i>Schulart</i>	-					
<i>GY/RS/MS/GS</i>		19/12/1/1	9/4/-/3	12/2/-/-	16/1/-/-	11/3/-/-
<i>Fächer</i>	-					
<i>B/M/E/P</i>		14/2/4/2	10/1/-/-	-/7/3/-	13/2/1/-	5/7/-/-
<i>Semester</i>	1.02 (0.15)	1.22 (0.67)	1.00 (0.00)	1.00 (0.00)	1.67 (1.41)	1.00 (0.00)
<i>Schulart</i>						
<i>GY/FB</i>	59/13	23/11	11/2	10/-	9/6	6/6
<i>Oberstufe</i>						
<i>Ja/Nein</i>	61/10	27/7	10/4	9/1	10/5	9/3
<i>Abitur</i>						
<i>Ja/Nein</i>	35/37	10/23	5/7	7/3	4/11	4/8
<i>Abiturnote</i>	1.86 (0.57)	2.21 (0.54)	1.86 (0.40)	1.59 (0.64)	2.18 (0.62)	1.92 (0.40)
<i>Ausbildung</i>						
<i>Ja/Nein</i>	10/62	-/34	2/12	1/9	-/15	2/10
<i>Studium</i>						
<i>Ja/Nein</i>	13/59	5/29	3/14	1/9	4/11	1/11
<i>Wunsch</i>						
<i>Ja/Nein</i>	60/9	31/3	12/2	8/2	14/1	12/2
<i>Vorkurs</i>						
<i>Ja/Nein</i>	2/4	2/7	5/4	1/8	3/6	3/3

Anmerkungen: B.Sc.: Bachelor of Science-Studierende, KG: Kontrollgruppe, IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Examples fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideos fremderstellt, IG_VS: Interventionsgruppe Video-Modeling-Examples selbsterstellt; IG_ES: Interventionsgruppe Erklärvideos selbsterstellt, w: weiblich, m: männlich, GY: Gymnasium, RS: Realschule, MS: Mittelschule, GS: Grundschule, FB: FOS/BOS, B: Biologie, M: Mathe, E: Englisch, P: Physik

Tabelle 11-6: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 2 – Prozentual

Gruppe	B.Sc.	KG	IG_VF	IG_EF
<i>N</i>	95	35	26	33
<i>Alter M(SD)</i>	19.61 (1.9)	20.39 (2.01)	19.52 (1.68)	19.41 (1.46)
<i>Geschlecht</i>				
<i>w</i>	57.9 %	51.4 %	61.5 %	63.6 %
<i>m</i>	34.7 %	37.1 %	38.5 %	36.4 %
<i>Schulart</i>	-			
<i>GY</i>		65.7 %	73.1 %	75.8 %
<i>RS</i>		20.0 %	19.2 %	18.2 %
<i>MS</i>		5.7 %	-	-
<i>GS</i>		-	7.7 %	6.1 %
<i>Fächer</i>	-			
<i>B</i>		40.0 %	46.2 %	63.6 %
<i>M</i>		34.3 %	38.5 %	18.2 %
<i>E</i>		11.4 %	-	3.0 %
<i>P</i>		2.9 %	7.7 %	6.1 %
<i>Semester</i>	1.00 (0.00)	1.46 (1.14)	1.04 (0.20)	1.27(0.64)
<i>Schulart</i>				
<i>GY</i>	72.6 %	62.9 %	61.5 %	72.7 %
<i>FB</i>	15.8 %	25.7 %	26.9 %	24.2 %
<i>Oberstufe</i>				
<i>Ja</i>	81.1 %	57.1 %	73.1 %	69.7 %
<i>Nein</i>	10.5 %	41.4 %	15.4 %	27.3 %
<i>Abitur</i>				
<i>Ja</i>	43.2 %	22.9 %	30.8 %	30.3 %
<i>Nein</i>	48.4 %	65.7 %	57.7 %	66.7 %
<i>Abiturnote</i>	1.86 (0.63)	2.16 (0.55)	1.95 (0.61)	1.84 (0.55)
<i>Ausbildung</i>				
<i>Ja</i>	9.5 %	17.1 %	7.7 %	3.0 %
<i>Nein</i>	83.2 %	71.4 %	80.8 %	93.9 %
<i>Studium</i>				
<i>Ja</i>	8.4 %	17.1 %	19.2 %	21.2 %
<i>Nein</i>	84.2 %	71.4 %	69.2 %	75.8 %
<i>Wunsch</i>				
<i>Ja</i>	78.9 %	71.4 %	80.8 %	90.9 %
<i>Nein</i>	10.5 %	14.3 %	3.8 %	3.0 %
<i>Vorkurs</i>				
<i>Ja</i>	27.4 %	8.6 %	34.6 %	21.2 %
<i>Nein</i>	65.3 %	80.0 %	53.8 %	72.7 %

Anmerkungen: B.Sc.: Bachelor of Science-Studierende, KG: Kontrollgruppe, IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Examples fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideos fremderstellt, w: weiblich, m: männlich, GY: Gymnasium, RS: Realschule, MS: Mittelschule, GS: Grundschule, FB: FOS/BOS, B: Biologie, M: Mathe, E: Englisch, P: Physik

Tabelle 11-7: Stichprobenbeschreibung der Hauptstudie 2 – Absolute Werte

Gruppe	B.Sc.	KG	IG_VF	IG_EF
<i>N</i>	95	35	26	33
<i>Alter M(SD)</i>	19.61 (1.9)	20.39 (2.01)	19.52 (1.68)	19.41 (1.46)
<i>Geschlecht w/m</i>	55/33	18/13	16/10	21/12
<i>Schulart</i>	-			
<i>GY/RS/MS/GS</i>		23/7/2/-	19/5/-/2	25/6/-/2
<i>Fächer</i>	-			
<i>B/M/E/P</i>		14/12/4/1	12/10/-/2	21/6/1/2
<i>Semester</i>	1.00 (0.00)	1.46 (1.14)	1.04 (0.20)	1.27 (0.64)
<i>Schulart</i>				
<i>GY/FB</i>	69/15	22/9	16/7	24/8
<i>Oberstufe</i>				
<i>Ja/Nein</i>	77/10	20/11	19/4	23/9
<i>Abitur</i>				
<i>Ja/Nein</i>	41/46	8/23	8/15	10/22
<i>Abiturnote</i>	1.86 (0.63)	2.16 (0.55)	1.95 (0.61)	1.84 (0.55)
<i>Ausbildung</i>				
<i>Ja/Nein</i>	9/79	6/25	2/21	1/31
<i>Studium</i>				
<i>Ja/Nein</i>	8/80	6/25	5/18	7/25
<i>Wunsch</i>				
<i>Ja/Nein</i>	75/10	25/5	21/1	30/1
<i>Vorkurs</i>				
<i>Ja/Nein</i>	26/62	3/28	9/14	7/24

Anmerkungen: B.Sc.: Bachelor of Science-Studierende, KG: Kontrollgruppe, IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Examples fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideos fremderstellt, w: weiblich, m: männlich, GY: Gymnasium, RS: Realschule, MS: Mittelschule, GS: Grundschule, FB: FOS/BOS, B: Biologie, M: Mathe, E: Englisch, P: Physik

Tabelle 11-8: Geschlechterverteilung in den Gruppen der Hauptstudie

		Geschlecht		Gesamt	
		Männlich	Weiblich		
Seminar- gruppe	KG	Anzahl	30	34	64
		Erwartete Anzahl	25,9	38,1	64,0
	IG_VF	Anzahl	17	26	43
		Erwartete Anzahl	17,4	25,6	43,0
	IG_EF	Anzahl	17	30	47

IG_VS	Erwartete Anzahl	19,1	27,9	47,0
	Anzahl	7	10	17
IG_ES	Erwartete Anzahl	6,9	10,1	17,0
	Anzahl	4	10	14
Gesamt	Erwartete Anzahl	5,7	8,3	14,0
	Anzahl	75	110	185
	Erwartete Anzahl	75,0	110,0	185,0

Tabelle 11-9: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich Geschlechterverteilung

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	2,291	4	,682	,689
Likelihood-Quotient	2,318	4	,677	,686
Anzahl gültiger Fälle	185			

Tabelle 11-10: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich gewählter Schulform

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	19,951	12	,068	,071
Likelihood-Quotient	21,178	12	,048	,052
Anzahl gültiger Fälle	185			

Tabelle 11-11: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des aktuellen Semesters

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	10,353	12	,585	,548
Likelihood-Quotient	12,926	12	,374	,396
Anzahl gültiger Fälle	121			

Tabelle 11-12: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des Landes, in dem die Hochschulreife erlangt wurde

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	3,300	8	,914	1,000
Likelihood-Quotient	3,908	8	,865	1,000
Anzahl gültiger Fälle	171			

Tabelle 11-13: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des Bundeslandes, in dem die Hochschulreife erlangt wurde

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	14,276	20	,816	,768
Likelihood-Quotient	14,121	20	,824	,769
Anzahl gültiger Fälle	170			

Tabelle 11-14: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Schulart, bei dem die Hochschulreife erlangt wurde

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	9,540	8	,299	,281
Likelihood-Quotient	8,819	8	,358	,240
Anzahl gültiger Fälle	171			

Tabelle 11-15: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Wahl von Chemie in der Oberstufe

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	,996	4	,910	,914
Likelihood-Quotient	,983	4	,912	,917
Anzahl gültiger Fälle	171			

Tabelle 11-16: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Abiturprüfung in Chemie

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	2,274	4	,685	,690
Likelihood-Quotient	2,275	4	,685	,696
Anzahl gültiger Fälle	168			

Tabelle 11-17: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich der Abiturprüfung

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	11,497	8	,175	,173
Likelihood-Quotient	11,812	8	,160	,208
Anzahl gültiger Fälle	162			

Tabelle 11-18: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich einer vorangegangenen Ausbildung

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	3,574	4	,467	,461
Likelihood-Quotient	4,631	4	,327	,411
Anzahl gültiger Fälle	171			

Tabelle 11-19: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich eines vorangegangenen Studiums

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	2,080	4	,721	,729
Likelihood-Quotient	2,096	4	,718	,738
Anzahl gültiger Fälle	171			

Tabelle 11-20: Chi-Quadrat-Test hinsichtlich des Wunschstudiums

Chi-Quadrat-Test				
	Wert	df	Asymptotische Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	2,421	4	,659	,675
Likelihood-Quotient	3,405	4	,492	,619
Anzahl gültiger Fälle	168			

11.6 Detaillierte Ergebnisse zu den Forschungsfragen

Balanced one-way analysis of variance power calculation

k = 5
 n = 39.1534
 f = 0.25
 sig.level = 0.05
 power = 0.8

NOTE: n is number in each group

Abbildung 11-1: Hauptstudie 1 – Ausgabe der Stichprobenplanung für fünf Gruppen

Tabelle 11-21: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 – Fachwissenstest

Test auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
HS 1	,130	39	,093	,950	39	,085
HS1 – KG	,181	8	,200*	,966	8	,869
HS1 – IG_VF	,297	9	,021	,687	9	,001
HS1 – IG_EF	,180	9	,200*	,933	9	,507
HS1 – IG_VS	,229	7	,200*	,933	7	,576
HS1 – IG_ES	,140	6	,200*	,992	6	,993

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 11-22: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 2 – Fachwissenstest

Test auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
HS 2	,051	61	,200*	,989	61	,862
HS2 – KG	,228	10	,149	,907	10	,259
HS2 – IG_VF	,162	23	,120	,955	23	,367
HS2 – IG_EF	,107	28	,200*	,952	28	,217

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 11-23: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Fachwissenstest

Test auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
HS	,039	99	,200*	,992	99	,860
HS – KG	,187	18	,095	,929	18	,188
HS – IG_VF	,142	32	,097	,943	32	,091
HS – IG_EF	,101	36	,200*	,958	36	,189
HS – IG_VS	,209	7	,200*	,929	7	,543
HS – IG_ES	,147	6	,200*	,990	6	,989

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

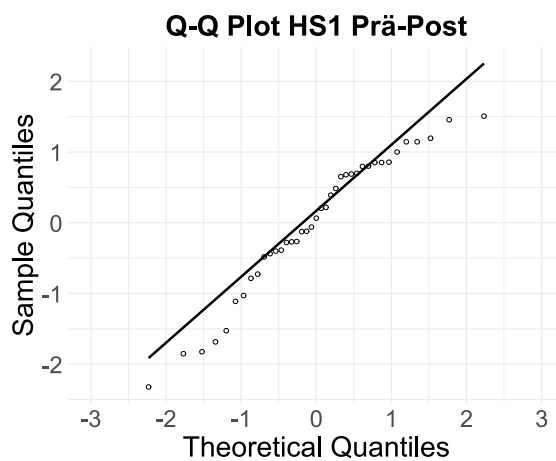


Abbildung 11-2: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 gesamt

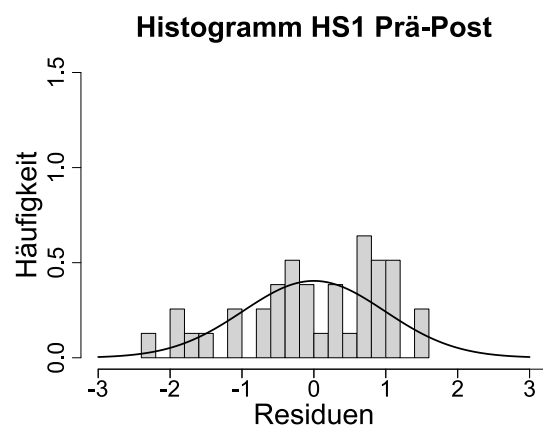


Abbildung 11-3: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 gesamt

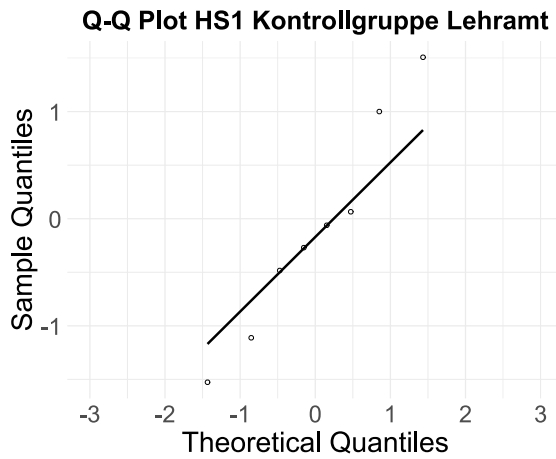


Abbildung 11-4: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Kontrollgruppe

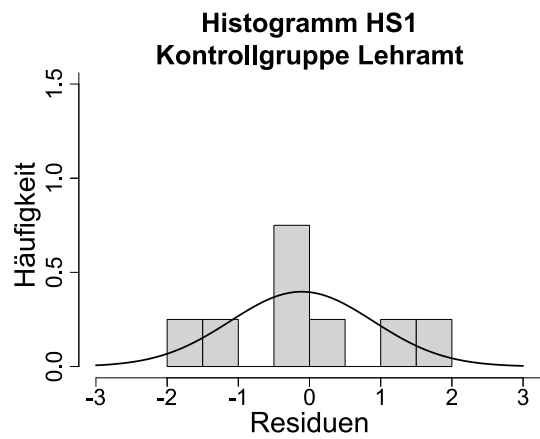


Abbildung 11-5: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Kontrollgruppe

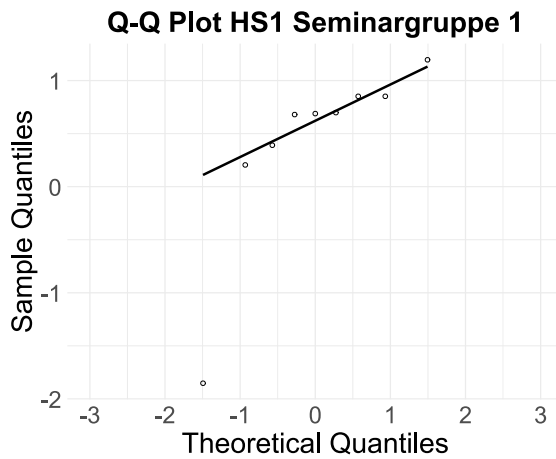


Abbildung 11-6: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 1

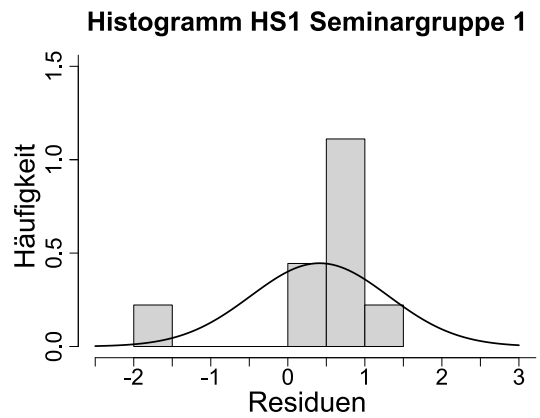


Abbildung 11-7: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe

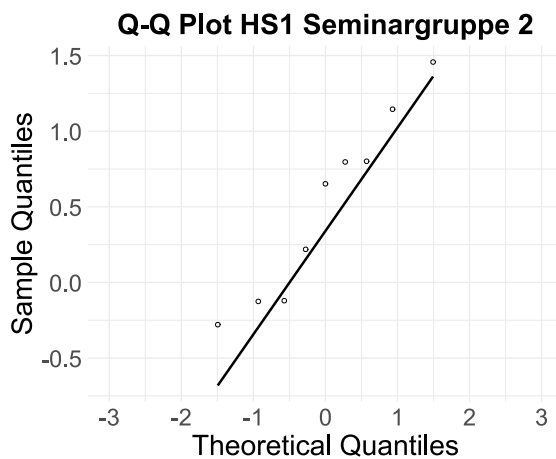


Abbildung 11-8: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 2

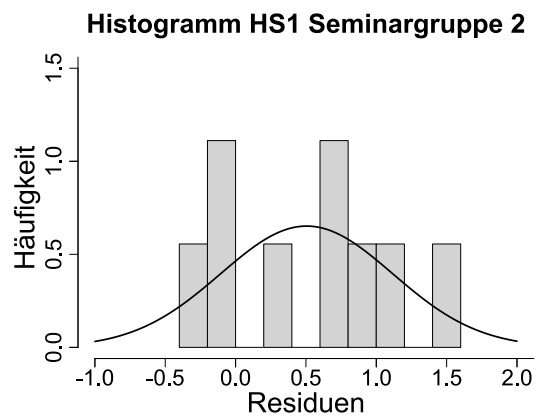


Abbildung 11-9: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 2

Q-Q Plot HS1 Seminargruppe 3

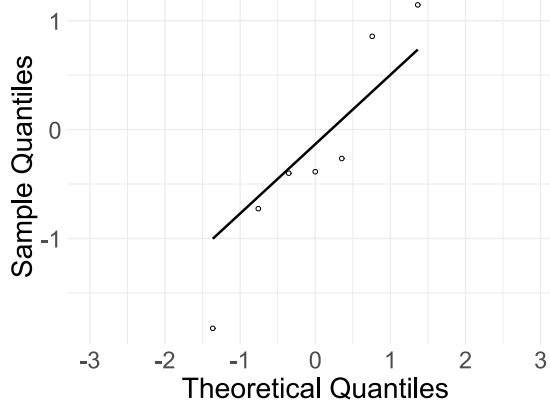


Abbildung 11-10: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 3

Histogramm HS1 Seminargruppe 3

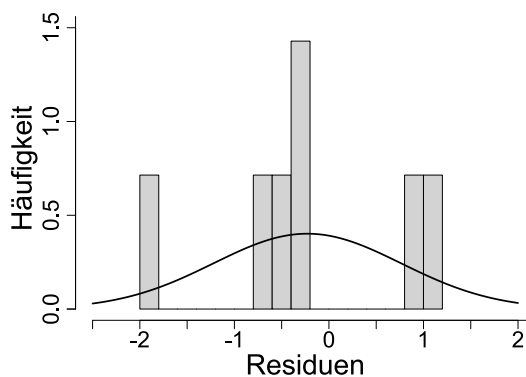


Abbildung 11-11: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 3

Q-Q Plot HS1 Seminargruppe 4

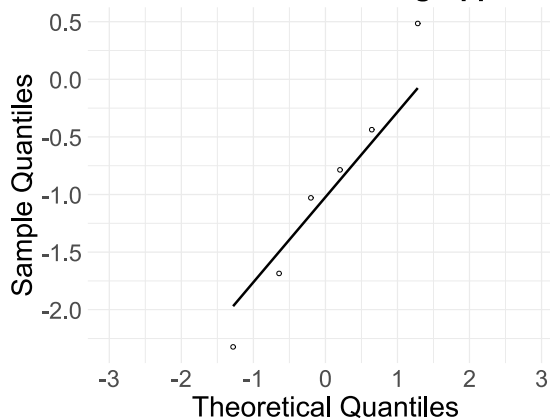


Abbildung 11-12: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 4

Histogramm HS1 Seminargruppe 4

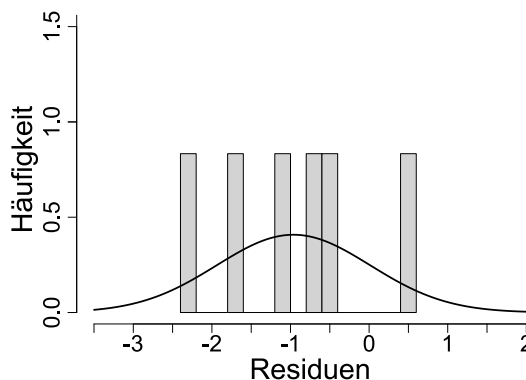


Abbildung 11-13: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 1 Seminargruppe 4

Q-Q Plot HS2 Prä-Post

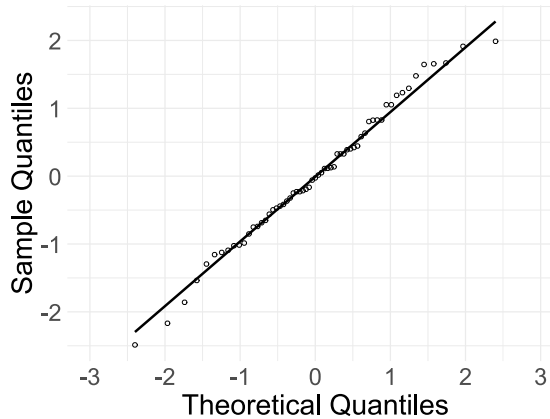


Abbildung 11-14: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 gesamt

Histogramm HS2 Prä-Post

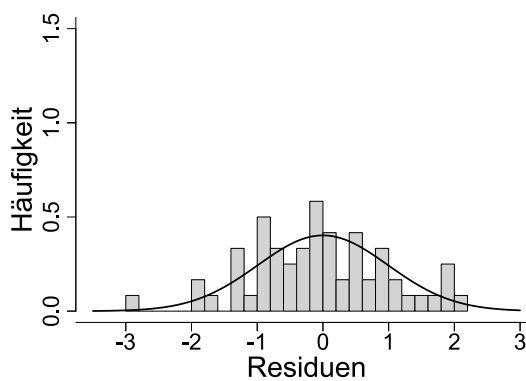


Abbildung 11-15: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 gesamt

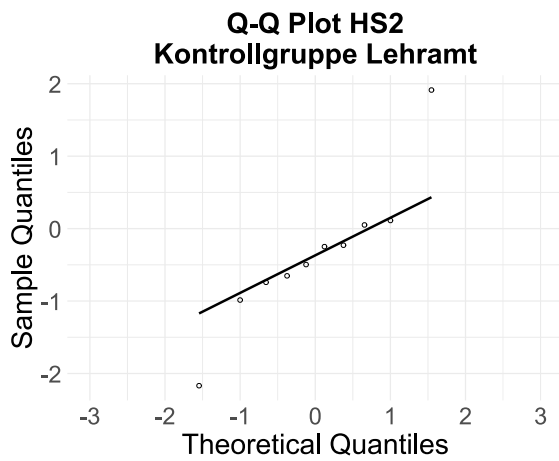


Abbildung 11-16: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Kontrollgruppe

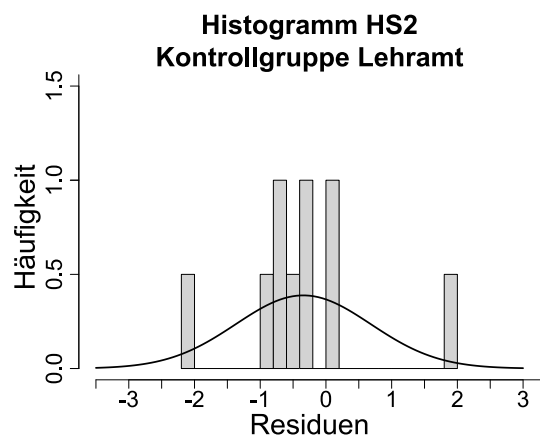


Abbildung 11-17: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Kontrollgruppe

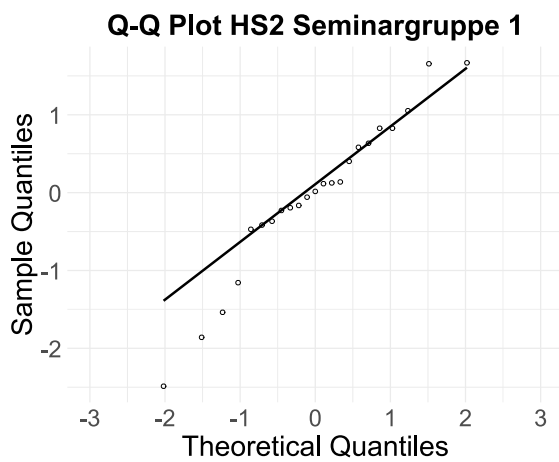


Abbildung 11-18: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 1

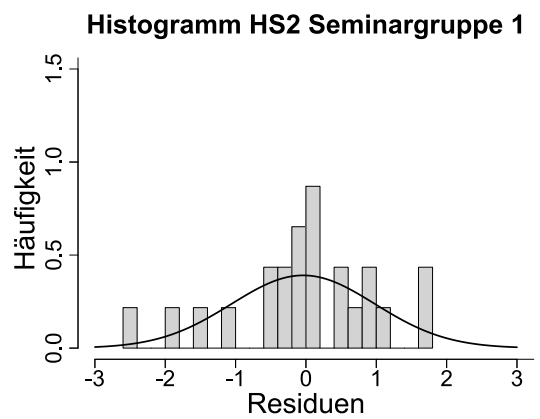


Abbildung 11-19: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 1

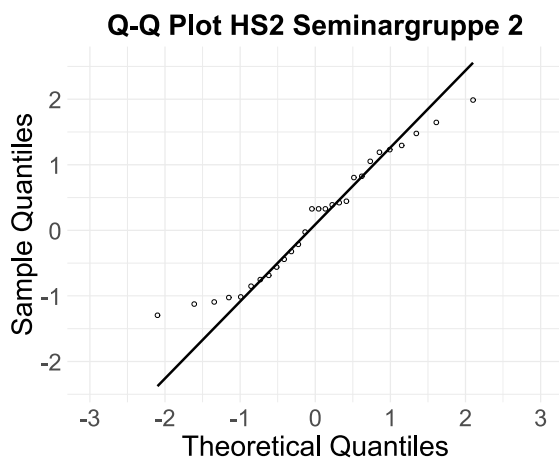


Abbildung 11-20: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 2

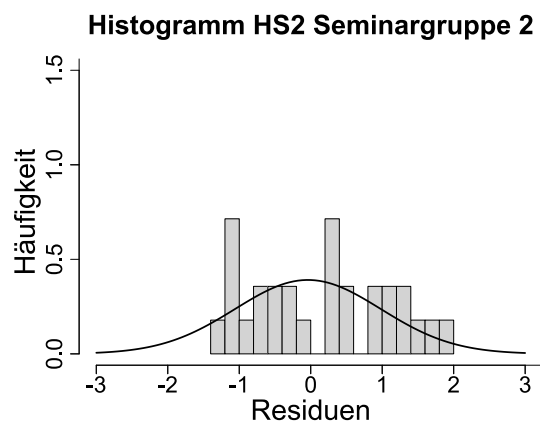


Abbildung 11-21: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie 2 Seminargruppe 2

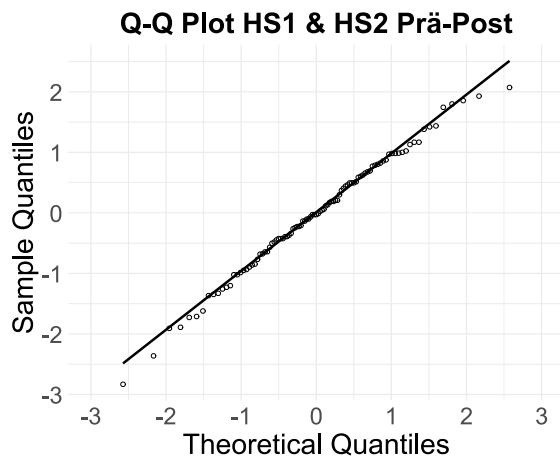


Abbildung 11-22: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie

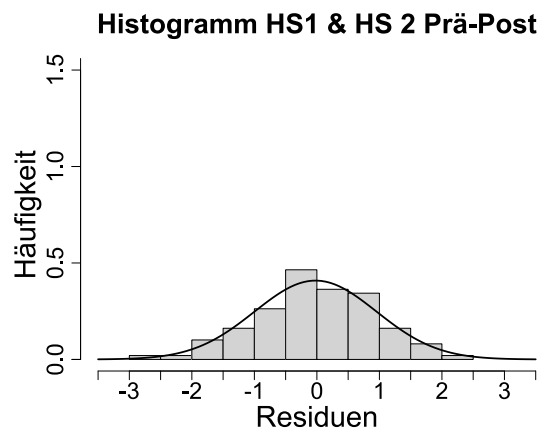


Abbildung 11-23: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie

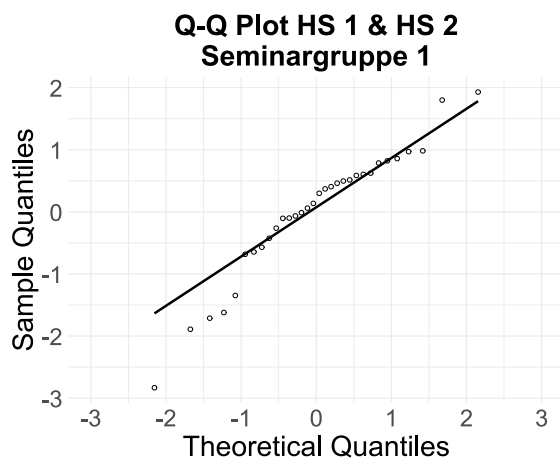


Abbildung 11-24: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 1

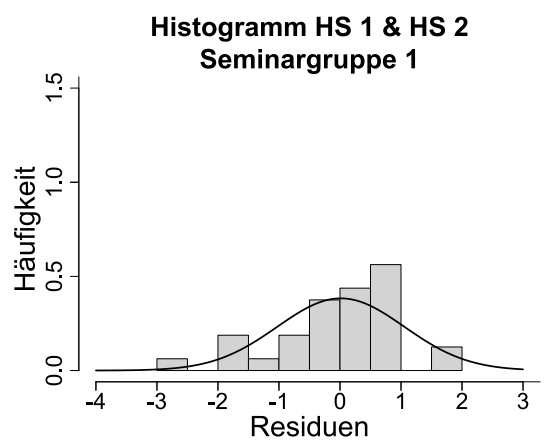


Abbildung 11-25: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 1

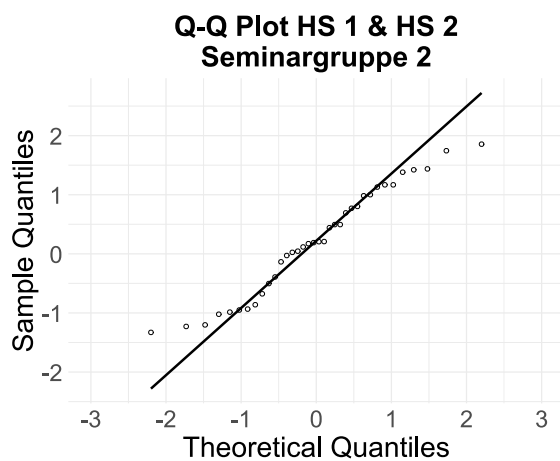


Abbildung 11-26: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 2

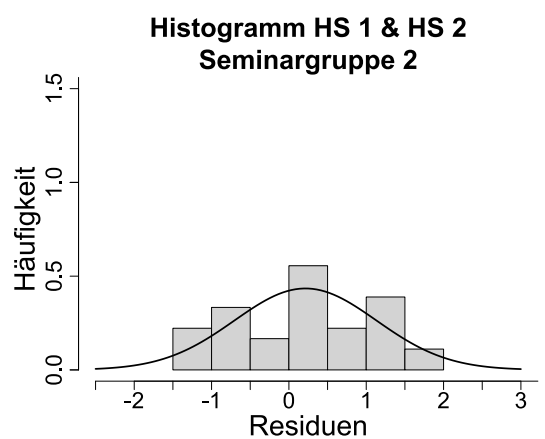


Abbildung 11-27: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 2

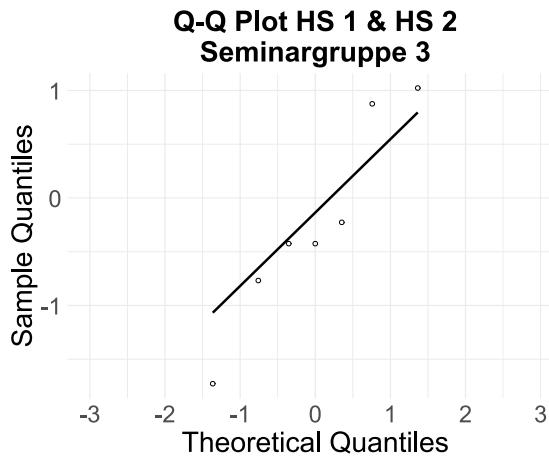


Abbildung 11-28: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 3

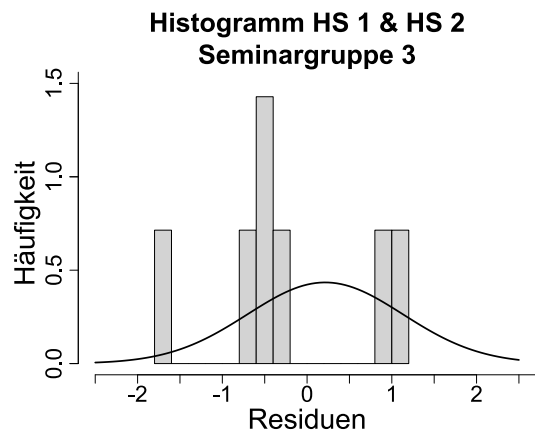


Abbildung 11-29: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 3

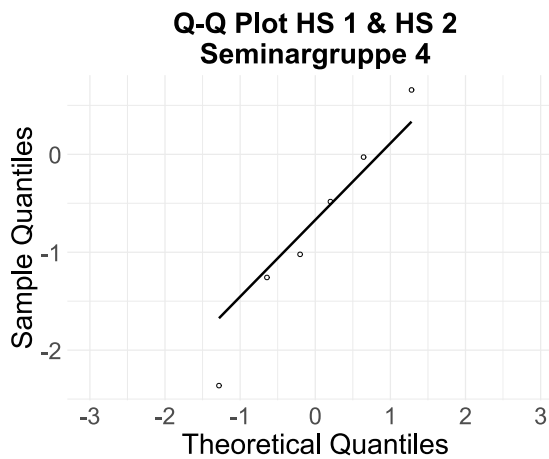


Abbildung 11-30: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 4

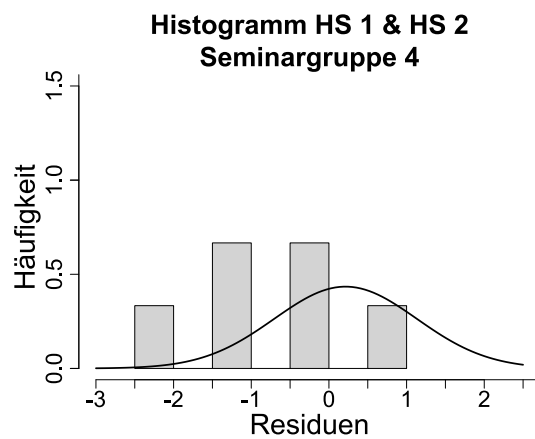


Abbildung 11-31: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Seminargruppe 4

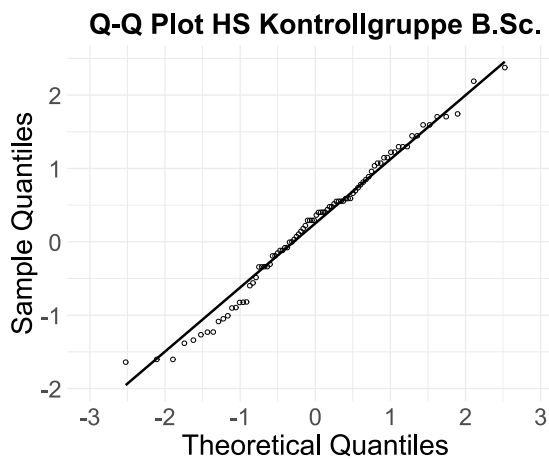


Abbildung 11-32: QQ-Plot Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Kontrollgruppe B.Sc. Bio-/Chemie

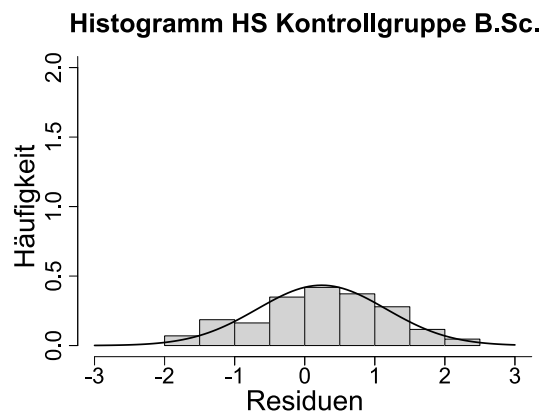


Abbildung 11-33: Histogramm Fachwissenstest Prä-Post – Hauptstudie Kontrollgruppe B.Sc. Bio-/Chemie

Tabelle 11-24: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Kovariablen

Test auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
SWE	,042	94	,200*	,990	94	,667
SE	,082	51	,200*	,986	51	,812
MN	,174	51	<,001	,907	51	<,001
MNL	,070	51	,200*	,984	51	,734
Z	,113	51	,106	,974	51	,324

Anmerkungen: SWE: Skala zur Selbstwirksamkeitserwartungen; SE: Skala zur Selbsteinschätzung; MN: Skala zur allgemeinen Mediennutzung; MNL: Skala zur lernbezogenen Mediennutzung; Z: Skala zur Studienzufriedenheit

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 11-25: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Aktuelle Motivation

Test auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
HS – IG_	,101	100	,014	,985	100	,312
HS – KG	,153	16	,200*	,934	16	,281
HS – IG_SE	,090	71	,200*	,982	71	,386
HS – IG_LV	,181	13	,200*	,944	13	,506

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 11-26: Test auf Normalverteilung Hauptstudie 1 und 2 – Gesamt-Score-Werte Kodiermanual

Test auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Säure-Base-Chemie						
IG_VF	,112	40	,200*	,979	40	,671
IG_EV	,077	44	,200*	,977	44	,520
VSEPR-Theorie						

IG_VF	,082	40	,200*	,958	40	,142
IG_EV	,076	44	,200*	,976	44	,487
Redoxchemie						
IG_VF	,098	40	,200*	,962	40	,194
IG_EV	,070	44	,200*	,992	44	,987

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 11-27: Schwierigkeitsindizes des Fachwissenstests in der Hauptstudie

VSEPR-Theorie		Säure-Base-Chemie		Redoxchemie	
Item	Schwierigkeitsindex	Item	Schwierigkeitsindex	Item	Schwierigkeitsindex
FW_VSEPR 1.1.1	78	FW_SB1	96	FW_Redox1.1	80
FW_VSEPR 1.1.2	70	FW_SB2	78	FW_Redox1.2	49
FW_VSEPR 1.1.3	67	FW_SB3	73	FW_Redox1.3	56
FW_VSEPR 1.2.1	87	FW_SB4.1.1	77	FW_Redox1.4	57
FW_VSEPR 1.2.2	65	FW_SB4.1.2	70	FW_Redox2	93
FW_VSEPR 1.2.3	65	FW_SB4.2.1	74	FW_Redox3.1	60
FW_VSEPR 2	63	FW_SB4.2.2	77	FW_Redox3.2	22
FW_VSEPR 3.1	47	FW_SB4.3.1	69	FW_Redox4	45
FW_VSEPR 3.2	77	FW_SB4.3.2	65	FW_Redox5.1	57
FW_VSEPR 4.1	58	FW_SB5.1	50	FW_Redox5.2	23
FW_VSEPR 4.2	44	FW_SB5.2	19	FW_Redox5.3	55
FW_VSEPR 5.1	50	FW_SB6	46	FW_Redox5.4	29
FW_VSEPR 5.2	50			FW_Redox5.5	16
FW_VSEPR 5.3	44				

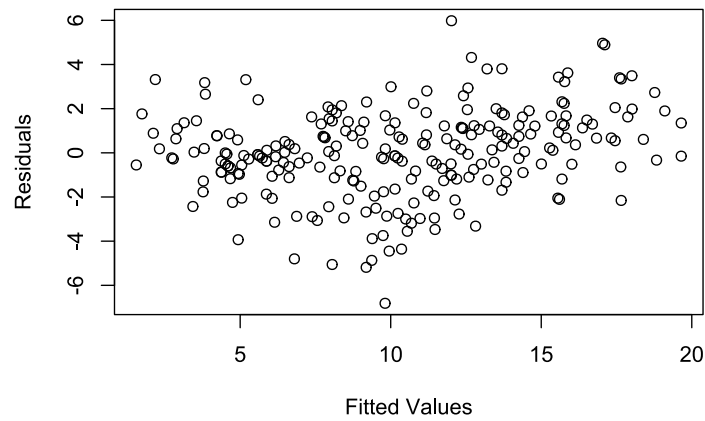


Abbildung 11-34: Prüfung auf Homoskedastizität – Multiples lineares Regressionsmodell – Forschungsfrage 1.1

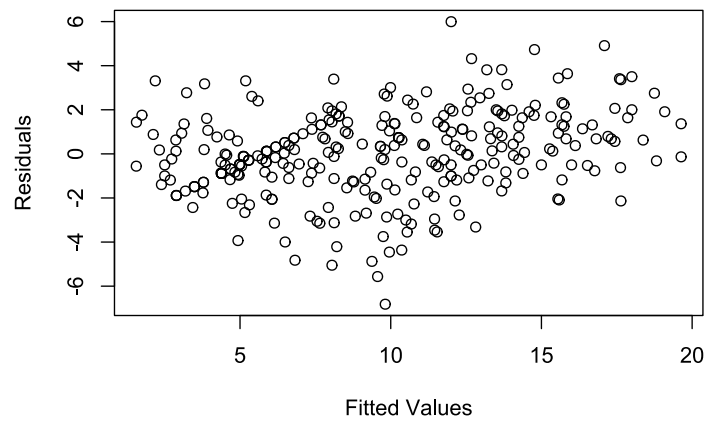


Abbildung 11-35: Prüfung auf Homoskedastizität – Multiples lineares Regressionsmodell – Forschungsfrage 1.2

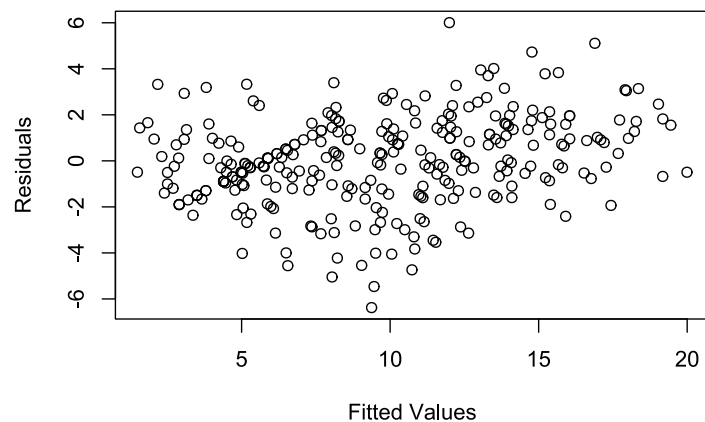


Abbildung 11-36: Prüfung auf Homoskedastizität – Multiples lineares Regressionsmodell – Forschungsfrage 1.3

Reliabilitätsanalyse Fachwissenstest – Rohdaten – Hauptstudie

Gültige Fälle: 205

Tabelle 11-28: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest – Rohdaten – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,868	,894	39

Tabelle 11-29: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest – Rohdaten – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FW_VSEPR1.1.1_post	14,351	21,626	,261	,867
FW_VSEPR1.1.2_post	14,390	21,065	,506	,863
FW_VSEPR1.1.3_post	14,439	21,098	,440	,864
FW_VSEPR1.2.1_post	14,320	21,646	,311	,866
FW_VSEPR1.2.2_post	14,412	21,171	,427	,864
FW_VSEPR1.2.3_post	14,427	21,012	,490	,863
FW_VSEPR2_post	14,193	20,513	,383	,865
FW_VSEPR3.1_post	14,512	20,879	,514	,862
FW_VSEPR3.2_post	14,341	20,344	,511	,861
FW_VSEPR4.1_post	14,146	21,162	,161	,873
FW_VSEPR4.2_post	14,312	20,816	,253	,869
FW_VSEPR5.1_post	14,512	20,893	,508	,862
FW_VSEPR5.2_post	14,532	21,209	,368	,865
FW_VSEPR5.3_post	14,529	20,984	,468	,863
FW_SB1_post	14,271	21,432	,230	,867
FW_SB2_post	14,015	20,728	,305	,867
FW_SB3_post	14,015	20,796	,287	,868

FW_SB4.1.1_post	14,359	21,215	,483	,864
FW_SB4.1.2_post	14,410	21,324	,355	,865
FW_SB4.2.1_post	14,380	21,347	,374	,865
FW_SB4.2.2_post	14,388	21,274	,402	,864
FW_SB4.3.1_post	14,385	21,138	,476	,863
FW_SB4.3.2_post	14,398	21,122	,467	,863
FW_SB5.1_post	14,502	21,357	,303	,866
FW_SB5.2_post	14,651	21,497	,296	,866
FW_SB6_post	14,322	21,884	-,003	,878
FW_Redox1.1_post	14,371	21,254	,438	,864
FW_Redox1.2_post	14,500	21,162	,389	,864
FW_Redox1.3_post	14,456	20,932	,506	,862
FW_Redox1.4_post	14,456	20,942	,502	,862
FW_Redox2_post	13,854	21,388	,248	,867
FW_Redox3.1_post	14,434	21,367	,318	,866
FW_Redox3.2_post	14,632	21,367	,342	,865
FW_Redox4_post	14,439	20,417	,382	,865
FW_Redox5.1_post	14,444	20,917	,521	,862
FW_Redox5.2_post	14,556	20,777	,568	,861
FW_Redox5.3_post	14,449	20,959	,498	,863
FW_Redox5.4_post	14,537	20,858	,526	,862
FW_Redox5.5_post	14,463	19,944	,477	,862

Reliabilitätsanalyse Fachwissenstest – akzeptable Trennschärfen – Hauptstudie

Gültige Fälle: 205

Tabelle 11-30: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest – akzeptable Trennschärfen – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,878	,897	38

Tabelle 11-31: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest – akzeptable Trennschärfen – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelas- sen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelas- sen
FW_VSEPR1.1.1_post	13,907	21,384	,266	,877
FW_VSEPR1.1.2_post	13,946	20,813	,518	,874
FW_VSEPR1.1.3_post	13,995	20,860	,444	,875
FW_VSEPR1.2.1_post	13,876	21,405	,317	,877
FW_VSEPR1.2.2_post	13,968	20,949	,423	,875
FW_VSEPR1.2.3_post	13,983	20,783	,490	,874
FW_VSEPR2_post	13,749	20,291	,382	,876
FW_VSEPR3.1_post	14,068	20,662	,509	,873
FW_VSEPR3.2_post	13,898	20,117	,511	,873
FW_VSEPR4.1_post	13,702	20,894	,169	,884
FW_VSEPR4.2_post	13,868	20,539	,265	,880
FW_VSEPR5.1_post	14,068	20,682	,500	,874
FW_VSEPR5.2_post	14,088	20,985	,365	,876
FW_VSEPR5.3_post	14,085	20,749	,470	,874
FW_SB1_post	13,827	21,197	,232	,878
FW_SB2_post	13,571	20,508	,302	,879
FW_SB3_post	13,571	20,548	,292	,879
FW_SB4.1.1_post	13,915	20,964	,494	,874
FW_SB4.1.2_post	13,966	21,080	,361	,876
FW_SB4.2.1_post	13,937	21,101	,381	,876
FW_SB4.2.2_post	13,944	21,040	,404	,875
FW_SB4.3.1_post	13,941	20,881	,490	,874
FW_SB4.3.2_post	13,954	20,872	,477	,874
FW_SB5.1_post	14,059	21,126	,302	,877
FW_SB5.2_post	14,207	21,262	,297	,877
FW_Redox1.1_post	13,927	21,014	,442	,875
FW_Redox1.2_post	14,056	20,929	,390	,875

FW_Redox1.3_post	14,012	20,705	,506	,874
FW_Redox1.4_post	14,012	20,714	,501	,874
FW_Redox2_post	13,410	21,143	,253	,878
FW_Redox3.1_post	13,990	21,135	,318	,877
FW_Redox3.2_post	14,188	21,140	,340	,876
FW_Redox4_post	13,995	20,159	,390	,876
FW_Redox5.1_post	14,000	20,699	,516	,873
FW_Redox5.2_post	14,112	20,531	,576	,872
FW_Redox5.3_post	14,005	20,745	,491	,874
FW_Redox5.4_post	14,093	20,629	,526	,873
FW_Redox5.5_post	14,020	19,742	,472	,874

Reliabilitätsanalyse Fachwissenstest Rohdaten – VSEPR-Theorie – Hauptstudie

Gültige Fälle: 205

Tabelle 11-32: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest Rohdaten – VSEPR-Theorie – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,761	,801	14

Tabelle 11-33: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest Rohdaten – VSEPR-Theorie – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FW_VSEPR1.1.1_post	4,890	4,095	,287	,755
FW_VSEPR1.1.2_post	4,929	3,893	,478	,741
FW_VSEPR1.1.3_post	4,978	3,827	,499	,738
FW_VSEPR1.2.1_post	4,859	4,100	,358	,752

FW_VSEPR1.2.2_post	4,951	3,902	,438	,743
FW_VSEPR1.2.3_post	4,966	3,859	,473	,740
FW_VSEPR2_post	4,732	3,641	,340	,754
FW_VSEPR3.1_post	5,051	3,832	,463	,740
FW_VSEPR3.2_post	4,880	3,688	,388	,746
FW_VSEPR4.1_post	4,685	3,593	,281	,770
FW_VSEPR4.2_post	4,851	3,452	,389	,752
FW_VSEPR5.1_post	5,051	3,883	,408	,745
FW_VSEPR5.2_post	5,071	3,915	,375	,747
FW_VSEPR5.3_post	5,068	3,785	,515	,736

Reliabilitätsanalyse Fachwissenstest Rohdaten – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Gültige Fälle: 205

Tabelle 11-34: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest Rohdaten – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,630	,743	12

Tabelle 11-35: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest Rohdaten – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FW_SB1_post	4,600	2,300	,223	,619
FW_SB2_post	4,344	2,007	,308	,608
FW_SB3_post	4,344	2,130	,202	,636
FW_SB4.1.1_post	4,688	2,238	,510	,585
FW_SB4.1.2_post	4,739	2,232	,427	,590
FW_SB4.2.1_post	4,710	2,233	,470	,587

FW_SB4.2.2_post	4,717	2,209	,497	,582
FW_SB4.3.1_post	4,715	2,189	,535	,577
FW_SB4.3.2_post	4,727	2,192	,508	,579
FW_SB5.1_post	4,832	2,340	,222	,619
FW_SB5.2_post	4,980	2,360	,261	,614
FW_SB6_post	4,651	2,386	-,040	,714

Reliabilitätsanalyse Fachwissenstest mit akzeptabler Trennschärfe – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Gültige Fälle: 205

Tabelle 11-36: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest mit akzeptabler Trennschärfe – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,714	,775	11

Tabelle 11-37: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest mit akzeptabler Trennschärfe – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FW_SB1_post	4,156	2,113	,233	,713
FW_SB2_post	3,900	1,837	,308	,718
FW_SB3_post	3,900	1,930	,223	,737
FW_SB4.1.1_post	4,244	2,036	,562	,674
FW_SB4.1.2_post	4,295	2,036	,461	,682
FW_SB4.2.1_post	4,266	2,036	,510	,678
FW_SB4.2.2_post	4,273	2,023	,518	,676
FW_SB4.3.1_post	4,271	1,981	,597	,667
FW_SB4.3.2_post	4,283	1,991	,557	,671

FW_SB5.1_post	4,388	2,159	,224	,712
FW_SB5.2_post	4,537	2,174	,270	,705

Reliabilitätsanalyse Fachwissenstest Rohdaten – Redoxchemie – Hauptstudie
 Gültige Fälle: 205

Tabelle 11-38: Reliabilitätsanalyse zum Fachwissenstest Rohdaten – Redoxchemie – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,825	,841	13

Tabelle 11-39: Item-Skala-Statistik zum Fachwissenstest Rohdaten – Redoxchemie – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FW_Redox1.1_post	3,971	4,019	,424	,817
FW_Redox1.2_post	4,100	4,016	,328	,822
FW_Redox1.3_post	4,056	3,792	,586	,805
FW_Redox1.4_post	4,056	3,787	,592	,805
FW_Redox2_post	3,454	4,085	,211	,832
FW_Redox3.1_post	4,034	4,082	,281	,825
FW_Redox3.2_post	4,232	4,038	,358	,820
FW_Redox4_post	4,039	3,494	,441	,822
FW_Redox5.1_post	4,044	3,777	,613	,804
FW_Redox5.2_post	4,156	3,681	,700	,797
FW_Redox5.3_post	4,049	3,784	,601	,805
FW_Redox5.4_post	4,137	3,707	,663	,800
FW_Redox5.5_post	4,063	3,268	,557	,817

Reliabilitätsanalyse Selbstwirksamkeitserwartung Prä-Test

Gültige Fälle: 167

*Tabelle 11-40: Reliabilitätsanalyse zur Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-Test
– Hauptstudie*

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,667	,668	6

Tabelle 11-41: Item-Skala-Statistik zur Selbstwirksamkeitserwartung im Prä-Test– Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
SWE1_prae	14,54	5,864	,323	,648
SWE2_prae	15,14	5,317	,396	,625
SWE3_prae	14,59	5,063	,417	,618
SWE4_prae	15,23	5,201	,486	,593
SWE5_prae	15,06	5,527	,425	,616
SWE6_prae	14,51	5,565	,339	,645

Reliabilitätsanalyse Selbstwirksamkeitserwartung Post-Test

Gültige Fälle: 93

Tabelle 11-42: Reliabilitätsanalyse zur Selbstwirksamkeitserwartung im Post-Test – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,706	,713	6

Tabelle 11-43: Item-Skala-Statistik zur Selbstwirksamkeitserwartung im Post-Test - Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelas- sen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelas- sen
SWE1_post	13,62	6,672	,422	,674
SWE2_pos	14,25	5,819	,521	,639
SWE3_pos	13,95	6,138	,332	,707
SWE4_pos	14,55	5,859	,475	,654
SWE5_pos	14,40	6,590	,408	,677
SWE6_pos	13,97	5,879	,500	,646

Reliabilitätsanalyse Selbsteinschätzung Prä-Test

Gültige Fälle: 163

Tabelle 11-44: Reliabilitätsanalyse zur Selbsteinschätzung – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,742	,743	13

Tabelle 11-45: Item-Skala-Statistik zur Selbsteinschätzung – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelas- sen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelas- sen
SE1_prae	33,81	19,427	,550	,704
SE2_prae	34,23	18,896	,546	,702
SE3_prae	34,24	19,665	,527	,707
SE4_prae	34,21	19,231	,496	,709
SE5_prae	34,45	20,533	,393	,723
SE6_prae	34,06	21,651	,272	,735
SE7_prae	34,21	21,462	,244	,740

SE8_prae	34,01	20,827	,320	,731
SE9_prae	34,08	21,062	,451	,720
SE10_prae	34,09	21,486	,230	,741
SE11_prae	33,92	21,605	,281	,735
SE12_prae	34,44	21,841	,186	,746
SE13_prae	34,54	20,941	,264	,739

Reliabilitätsanalyse Allgemeine Mediennutzung Prä-Test

Gültige Fälle: 75

Tabelle 11-46: Reliabilitätsanalyse zur allgemeinen Mediennutzung – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,582	,577	8

Tabelle 11-47: Item-Skala-Statistik zur allgemeinen Mediennutzung – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
MN1_prae	12,45	16,062	,184	,579
MN2_prae	15,00	15,973	,205	,573
MN3_prae	14,59	17,354	,152	,582
MN4_prae	14,57	13,707	,267	,565
MN5_prae	15,16	12,731	,532	,459
MN6_prae	14,48	11,631	,492	,463
MN7_prae	15,36	16,098	,203	,573
MN8_prae	15,61	16,970	,303	,560

Reliabilitätsanalyse Lernbezogene Mediennutzung Prä-Test

Gültige Fälle: 75

Tabelle 11-48: Reliabilitätsanalyse zur lernbezogenen Mediennutzung – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,790	,792	14

Tabelle 11-49: Item-Skala-Statistik zur lernbezogenen Mediennutzung – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
MNL1_prae	34,01	49,959	,548	,764
MNL2_prae	34,39	52,592	,475	,772
MNL3_prae	34,69	47,783	,523	,766
MNL4_prae	33,32	52,194	,493	,770
MNL5_prae	33,43	52,221	,285	,793
MNL6_prae	34,55	52,197	,412	,777
MNL7_prae	34,99	49,743	,434	,776
MNL8_prae	32,43	58,032	,284	,787
MNL9_prae	35,92	56,048	,339	,783
MNL10_prae	35,72	56,394	,240	,789
MNL11_prae	34,05	48,321	,620	,756
MNL12_prae	35,53	53,171	,444	,774
MNL13_prae	34,28	51,502	,424	,776
MNL14_prae	36,12	58,729	,234	,790

Reliabilitätsanalyse Aktuelle Motivation Prä-Test

Gültige Fälle: 75

Tabelle 11-50: Reliabilitätsanalyse zur aktuellen Motivation im Prä-Test – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,594	,599	14

Tabelle 11-51: Item-Skala-Statistik zur aktuellen Motivation im Prä-Test – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FAM1_prae	50,60	35,595	,577	,518
FAM2_prae	52,15	37,397	,359	,553
FAM3_prae	51,84	39,055	,276	,569
FAM4_prae	49,72	43,907	-,071	,618
FAM5_prae	51,65	30,419	,643	,469
FAM6_prae	49,88	40,756	,226	,579
FAM7_prae	51,00	36,270	,545	,526
FAM8_prae	51,85	31,640	,537	,498
FAM9_prae	51,68	38,031	,257	,572
FAM10_prae	50,23	36,340	,554	,526
FAM11_prae	50,05	44,430	-,126	,641
FAM12_prae	51,40	53,946	-,617	,722
FAM13_prae	51,28	43,204	-,041	,622
FAM14_prae	50,80	35,162	,517	,521

Reliabilitätsanalyse Aktuelle Motivation Post-Test

Gültige Fälle: 93

Tabelle 11-52: Reliabilitätsanalyse zur aktuellen Motivation im Post-Test – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,759	,750	14

Tabelle 11-53: Item-Skala-Statistik zur aktuellen Motivation im Post-Test – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
FAM1_post	47,83	58,122	,622	,723
FAM2_post	49,32	64,090	,173	,766
FAM3_post	49,20	60,034	,470	,736
FAM4_post	47,19	63,658	,254	,756
FAM5_post	49,25	58,536	,413	,741
FAM6_post	47,16	66,376	,105	,768
FAM7_post	48,10	60,132	,502	,734
FAM8_post	49,24	58,291	,471	,734
FAM9_post	48,90	56,936	,484	,732
FAM10_post	48,05	55,334	,663	,713
FAM11_post	46,97	71,488	-,183	,789
FAM12_post	49,14	57,556	,494	,731
FAM13_post	48,61	65,827	,131	,766
FAM14_post	48,43	56,661	,586	,722

Reliabilitätsanalyse Studienzufriedenheit Post-Test

Gültige Fälle: 92

Tabelle 11-54: Reliabilitätsanalyse zur Studienzufriedenheit – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,758	,752	9

Tabelle 11-55: Item-Skala-Statistik zur Studienzufriedenheit – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Z1_post	21,46	16,185	,275	,756
Z2_post	21,34	15,720	,265	,760
Z3_post	21,23	15,739	,320	,751
Z4_post	21,92	13,368	,586	,709
Z5_post	21,93	14,699	,464	,731
Z6_post	21,74	15,140	,420	,738
Z7_post	22,07	13,534	,536	,718
Z8_post	22,21	13,374	,479	,730
Z9_post	22,63	13,686	,562	,714

Reliabilitätsanalyse Situationales Interesse - Gesamt

Gültige Fälle: 43

Tabelle 11-56: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – Gesamt – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,893	,888	30

Tabelle 11-57: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – Gesamt – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelas- sen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelas- sen
SI1_Redox	91,95	106,807	,288	,892
SI2_Redox	92,02	106,642	,246	,893
SI3_Redox	92,93	108,400	,081	,897
SI4_Redox	92,93	105,685	,275	,893
SI5_Redox	92,26	99,147	,665	,885
SI6_Redox	92,51	99,732	,649	,885
SI7_Redox	92,47	98,731	,667	,885
SI8_Redox	92,37	100,287	,614	,886
SI9_Redox	92,47	101,207	,555	,887
SI10_Redox	92,65	102,328	,515	,888
SI1_VSEPR	91,84	106,806	,329	,892
SI2_VSEPR	92,09	107,086	,207	,894
SI3_VSEPR	93,16	106,616	,200	,895
SI4_VSEPR	93,49	105,875	,246	,894
SI5_VSEPR	92,09	100,324	,705	,885
SI6_VSEPR	92,26	101,814	,601	,887
SI7_VSEPR	92,30	103,073	,548	,888
SI8_VSEPR	92,21	101,074	,556	,887
SI9_VSEPR	92,23	102,278	,501	,888
SI10_VSEPR	92,58	103,773	,381	,891
SI1_SB	91,70	109,692	,080	,894
SI2_SB	91,98	109,023	,055	,897
SI3_SB	92,84	106,092	,262	,893
SI4_SB	92,63	104,096	,399	,891
SI5_SB	92,37	98,382	,714	,884
SI6_SB	92,65	98,042	,725	,883
SI7_SB	92,51	99,303	,649	,885

SI8_SB	92,65	104,994	,253	,894
SI9_SB	92,37	100,953	,568	,887
SI10_SB	92,70	102,168	,479	,889

Reliabilitätsanalyse Situationales Interesse – Redoxchemie

Gültige Fälle: 81

Tabelle 11-58: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – Redoxchemie – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,724	,722	10

Tabelle 11-59: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – Redoxchemie – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
SI1_Redox	28,44	12,900	,192	,726
SI2_Redox	28,48	12,853	,180	,728
SI3_Redox	29,48	12,953	,042	,762
SI4_Redox	29,38	12,214	,201	,733
SI5_Redox	28,77	10,632	,631	,663
SI6_Redox	29,01	10,137	,649	,654
SI7_Redox	29,04	10,236	,585	,665
SI8_Redox	28,83	11,045	,517	,681
SI9_Redox	28,98	11,599	,349	,708
SI10_Redox	29,26	10,869	,551	,675

Reliabilitätsanalyse Situationales Interesse – VSEPR-Theorie

Gültige Fälle: 86

*Tabelle 11-60: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – VSEPR-Theorie
– Hauptstudie*

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,714	,723	10

*Tabelle 11-61: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – VSEPR-Theorie
– Hauptstudie*

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
SI1_VSEPR	28,43	10,460	,391	,693
SI2_VSEPR	28,62	10,522	,263	,709
SI3_VSEPR	29,70	11,084	,059	,745
SI4_VSEPR	29,98	10,823	,107	,739
SI5_VSEPR	28,73	9,139	,609	,653
SI6_VSEPR	28,90	8,754	,658	,640
SI7_VSEPR	28,98	9,082	,576	,656
SI8_VSEPR	28,77	9,639	,429	,683
SI9_VSEPR	28,76	9,951	,333	,699
SI10_VSEPR	29,14	9,533	,431	,682

Reliabilitätsanalyse Situationales Interesse – Säure-Base-Chemie

Gültige Fälle: 71

Tabelle 11-62: Reliabilitätsanalyse zum situationalen Interesse – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,690	,683	10

Tabelle 11-63: Item-Skala-Statistik zum situationalen Interesse – Säure-Base-Chemie – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
SI1_SB	28,21	12,340	,236	,687
SI2_SB	28,41	11,759	,192	,691
SI3_SB	29,37	12,093	,076	,712
SI4_SB	29,14	11,323	,189	,698
SI5_SB	28,89	9,816	,558	,626
SI6_SB	29,07	9,181	,642	,603
SI7_SB	29,07	9,724	,532	,629
SI8_SB	28,97	10,942	,243	,689
SI9_SB	28,76	10,128	,468	,644
SI10_SB	29,25	10,649	,386	,660

t-Test für unabhängige Stichproben zwischen Hauptstudie 1 und 2

Tabelle 11-64: t-Test für unabhängige Stichproben der Kontrollgruppe zwischen Hauptstudie 1 und 2

Statistik bei unabhängigen Stichproben							
	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes			
z-standardisiertes Residuum KG – HS1	8	-,1525145	,71956410	,25440433			
z-standardisiertes Residuum KG – HS2	10	-,2898273	1,01791460	,32189286			
Test bei unabhängigen Stichproben							
		Gepaarte Differenzen					
			95% Konfidenzintervall der Differenz				
	T	df	Signifikanz (zweiseitig)	Untere	Obere	Mittlere Differenz	Diff. Standardf.
t-Test	0,322	16	,752	-,76733299	1,04195859	,13731280	,42673877

Tabelle 11-65: t-Test für unabhängige Stichproben der Interventionsgruppe IG_VF zwischen Hauptstudie 1 und 2

Statistik bei unabhängigen Stichproben							
	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes			
z-standardisiertes Residuum IG_VF – HS1	9	,3163539	,75650269	,25216756			
z-standardisiertes Residuum IG_VF – HS2	23	-,1046519	1,12524284	,23462935			
Test bei unabhängigen Stichproben							
		Gepaarte Differenzen					
			95% Konfidenzintervall der Differenz				
	T	df	Signifikanz (zweiseitig)	Untere	Obere	Mittlere Differenz	Diff. Standardf.
t-Test	1,030	30	,311	-,41391272	1,25592427	,42100577	,40881837

Tabelle 11-66: *t*-Test für unabhängige Stichproben der Interventionsgruppe IG_EF zwischen Hauptstudie 1 und 2

Statistik bei unabhängigen Stichproben							
	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes			
z-standardisiertes Residuum IG_EF – HS1	9	,5942737	,54009122	,18003041			
z-standardisiertes Residuum IG_EF – HS2	27	,0871315	,98926848	,19038481			
Test bei unabhängigen Stichproben							
Gepaarte Differenzen							
				95% Konfidenzintervall der Differenz			
	T	df	Signifikanz (zweiseitig)	Untere	Obere	Mittlere Differenz	Diff. Standardf.
t-Test	1,935	25,923	,064	-,03153662	1,04582103	,50714220	,26202542

Forschungsfragen 1, 2.1 und 3 – Gemischtes lineares Regressionsmodell – Weitere Ergebnisse

Tabelle 11-67: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur VSEPR-Theorie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	1.89	0.21	8.90	<.001
MZP 2	2.47	0.35	6.93	<.001
MZP 3	1.25	0.36	3.51	<.001
IG_SE	0.49	0.29	1.70	.091
IG_LV	0.10	0.39	0.25	.805
MZP 2: IG_SE	0.70	0.41	1.71	.089
MZP 3: IG_SE	1.50	0.44	3.41	<.001
MZP 2: IG_LV	-0.54	0.57	-0.95	.344
MZP 3: IG_LV	1.44	0.64	2.26	.025

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppe schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Tabelle 11-68: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV

	b	SE	t	p
Konstante	1.52	0.17	9.01	<.001
MZP 2	2.98	0.30	9.30	<.001
MZP 3	1.19	0.29	4.09	<.001
IG_SE	0.48	0.23	2.14	.034
IG_LV	0.18	0.31	0.61	.545
MZP 2: IG_SE	-0.32	0.35	-0.92	.360
MZP 3: IG_SE	0.11	0.37	0.29	.770
MZP 2: IG_LV	-0.66	0.48	-1.37	.172
MZP 3: IG_LV	0.86	0.53	1.62	.106

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppe schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Tabelle 11-69: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV – Kovariate Prä-Test

	b	SE	t	p
Konstante	0.36	0.14	2.57	.011
Prä-Test	0.75	0.05	15.04	<.001
MZP 2	3.00	0.26	11.74	<.001
MZP 3	0.44	0.31	1.41	.160
IG_SE	0.13	0.17	0.81	.419
IG_LV	0.08	0.22	0.34	.734
MZP 2: IG_SE	-0.30	0.30	-1.00	.321
MZP 3: IG_SE	0.87	0.37	2.36	.019
MZP 2: IG_LV	-0.54	0.41	-1.32	.188
MZP 3: IG_LV	2.59	0.51	5.05	<.001

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppe schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Tabelle 11-70: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Redoxchemie mit der Kontrollgruppe als Referenzgruppe – Hauptstudie mit KG, IG_SE und IG_LV

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	2.34	0.21	10.80	<.001
MZP 2	1.18	0.33	3.56	<.001
MZP 3	1.22	0.34	3.58	<.001
IG_SE	-0.09	0.28	-0.33	.741
IG_LV	0.11	0.38	0.29	.770
MZP 2: IG_SE	0.52	0.38	1.36	.174
MZP 3: IG_SE	0.13	0.42	0.32	.751
MZP 2: IG_LV	0.01	0.53	0.01	.990
MZP 3: IG_LV	-0.38	0.60	-0.63	.527

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; IG_SE: Interventionsgruppe schriftliche Erklärungen; IG_LV: Interventionsgruppen Lernvideos

Forschungsfrage 2.2 – Gemischtes lineares Regressionsmodell – Weitere Ergebnisse

Tabelle 11-71: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	6.13	0.63	9.70	<.001
MZP 2	7.20	0.60	11.99	<.001
MZP 3	5.93	0.80	7.41	<.001
KG	-0.41	0.79	-0.52	.607
IG_EF	0.54	0.87	0.63	.530
MZP 2: KG	-0.55	0.94	-0.58	.563
MZP 3: KG	-2.50	1.09	-2.28	.024
MZP 2: IG_EF	0.80	0.82	0.97	.333
MZP 3: IG_EF	-0.49	1.05	-0.47	.642

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Tabelle 11-72: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur VSEPR-Theorie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	2.53	0.28	9.07	<.001
MZP 2	3.21	0.30	10.79	<.001
MZP 3	2.46	0.35	6.97	<.001
KG	-0.63	0.35	-1.78	.077
IG_VF	-0.31	0.41	-0.77	.441
MZP 2: KG	-0.74	0.48	-1.55	.123
MZP 3: KG	-1.19	0.51	-2.33	.021
MZP 2: IG_VF	-0.07	0.43	-0.16	.873
MZP 3: IG_VF	0.71	0.55	1.31	.194

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Tabelle 11-73: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	2.06	0.21	10.05	<.001
MZP 2	2.67	0.24	11.10	<.001
MZP 3	1.39	0.29	4.86	<.001
KG	-0.56	0.26	-2.13	.034
IG_VF	-0.14	0.30	-0.47	.642
MZP 2: KG	0.31	0.38	0.81	.421
MZP 3: KG	-0.19	0.41	-0.48	.632
MZP 2: IG_VF	-0.04	0.35	-0.11	.916
MZP 3: IG_VF	-0.26	0.44	-0.51	.611

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Tabelle 11-74: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Säure-Base-Chemie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2 – Kovariate Prä-Test

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	0.53	0.18	2.94	.004
Prä-Test	0.74	0.05	14.31	<.001
MZP 2	2.69	0.21	12.60	<.001
MZP 3	1.37	0.25	5.52	<.001
KG	-0.15	0.19	-0.80	.427
IG_VF	-0.02	0.21	-0.08	.940
MZP 2: KG	0.31	0.33	0.94	.348
MZP 3: KG	-0.93	0.40	-2.34	.020
MZP 2: IG_VF	0.02	0.31	0.08	.937
MZP 3: IG_VF	-0.16	0.38	-0.42	.678

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Tabelle 11-75: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur Redoxchemie mit Interventionsgruppe IG_EF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2

	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Konstante	2.14	0.26	8.13	<.001
MZP 2	2.07	0.26	7.96	<.001
MZP 3	1.39	0.31	4.44	<.001
KG	0.13	0.33	0.38	.706
IG_VF	0.02	0.39	0.05	.957
MZP 2: KG	-0.89	0.42	-2.12	.036
MZP 3: KG	-0.17	0.46	-0.40	.720
MZP 2: IG_VF	-0.79	0.39	-2.05	.042
MZP 3: IG_VF	-0.05	0.49	-0.11	.915

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Tabelle 11-76: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen zur VSEPR-Theorie mit Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe – Forschungsfrage 2.2

	b	SE	t	p
Konstante	2.22	0.29	7.56	<.001
MZP 2	3.14	0.31	9.99	<.001
MZP 3	3.17	0.42	7.64	<.001
KG	-0.32	0.37	-0.86	.391
IG_EF	0.31	0.40	0.77	.442
MZP 2: KG	-0.67	0.49	-1.37	.172
MZP 3: KG	-1.91	0.56	-3.42	<.001
MZP 2: IG_EF	0.07	0.43	0.16	.873
MZP 3: IG_EF	-0.71	0.55	-1.31	.194

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt

Tabelle 11-77: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Gruppe B.Sc. Bio/Chemie als Referenzgruppe – Hauptstudie – Vorwissensunterschiede

	b	SE	t	p
Konstante	6.96	0.31	22.27	<.001
MZP 2	8.15	0.34	23.94	<.001
MZP 3	6.00	0.40	15.10	<.001
KG	-1.35	0.56	-2.39	.017
IG_VF	-0.84	0.73	-1.16	.249
IG_EF	-0.31	0.69	-0.45	.650
MZP 2: KG	-1.56	0.79	-1.99	.048
MZP 3: KG	-2.75	0.84	-3.27	.001
MZP 2: IG_VF	-0.94	0.68	-1.39	.166
MZP 3: IG_VF	-0.08	0.88	-0.10	.929
MZP 2: IG_EF	-0.15	0.65	-0.24	.815
MZP 3: IG_EF	-0.58	0.77	-0.75	.457

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt; B.Sc.: Studierende des Studiengangs Bachelor of Science Bio-/Chemie

Forschungsfrage 3 – Gemischtes lineares Regressionsmodell – Weitere Ergebnisse

Tabelle 11-78: LMM – Untersuchung der abhängigen Variable Fachwissen mit Interventionsgruppe IG_VF als Referenzgruppe – Hauptstudie

	b	SE	t	p
Konstante	5.18	0.75	6.90	<.001
MZP 2	8.49	0.86	9.87	<.001
IG_EF	2.82	1.16	2.43	.018
IG_VS	0.50	1.04	0.48	.633
IG_ES	1.32	1.10	1.20	.236
MZP 2: IG_EF	0.62	1.24	0.50	.621
MZP 2: IG_VS	-2.58	1.26	-2.04	.048
MZP 2: IG_ES	-3.72	1.34	-2.76	.009

Anmerkungen: MZP: Messzeitpunkt; KG: Kontrollgruppe; IG_VF: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example fremderstellt; IG_EF: Interventionsgruppe Erklärvideo fremderstellt; IG_VS: Interventionsgruppe Video-Modeling-Example selbsterstellt; IG_ES: Interventionsgruppe Erklärvideo selbsterstellt

Tabelle 11-79: Inter-Kodierer-Reliabilitätsstatistik und prozentuale Übereinstimmungen der Reliabilitätsanalyse III

Kategorie	Krippendorffs Alpha	Prozentuale Übereinstimmung (beobachtet)	Prozentuale Übereinstimmung (erwartet)
1.1	.934	97.8 %	66.7 %
1.2	.688	84.6 %	69.5 %
1.3	1.00	100.0%	57.1 %
1.4	-.144	60.4 %	65.4 %
1.5	.672	64.8 %	34.9 %
1.6	.591	62.6 %	38.7 %
2.1	.460	73.6 %	51.2 %
2.2	.229	38.5 %	31.7 %
2.3	.355	45.1 %	27.1 %
2.4	.504	60.4 %	40.0 %
2.5	.461	64.8 %	38.2 %
2.6	.855	82.4 %	41.6 %
2.7	.227	47.3 %	36.0 %
2.8	.358	73.6 %	58.9 %
3.1	.324	75.8 %	64.2 %
3.2	1.00	60.4 %	49.6 %
3.3	.249	58.2 %	55.5 %
3.4	.248	78.0 %	70.8 %

Reliabilitätsanalyse Kodiermanual – Scores – Hauptstudie

Tabelle 11-80: Reliabilitätsanalyse zum Kodiermanual – Scores – Hauptstudie

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Items	Anzahl der Items
,680	,695	18

Tabelle 11-81: Item-Skala-Statistik zum Kodiermanual – Scores – Hauptstudie

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
1.1	36,0961	20,448	,405	,648
1.2	36,8583	21,309	,407	,650
1.3	36,8020	19,112	,393	,652
1.4	35,5042	24,435	,039	,684
1.5	35,7983	21,938	,332	,660
1.6	36,1145	21,943	,364	,657
2.1	36,3020	20,044	,390	,650
2.2	36,0650	23,739	,041	,696
2.3	36,2137	22,616	,321	,663
2.4	35,9600	22,078	,500	,649
2.5	35,6402	21,320	,773	,632
2.6	36,1255	22,639	,337	,662
2.7	35,8498	21,934	,596	,644
2.8	35,9343	23,230	,137	,682
3.1	35,4049	24,085	,112	,680
3.2	37,3277	23,151	,240	,670
3.3	35,6880	25,247	-,157	,699
3.4	35,9490	25,235	-,142	,712

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

- 311 Marvin Rost (2021): Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht 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 Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Fallanalysen zum Nutzungsverhalten 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 Teilchenphysik. 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 naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische 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 Planung 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 Poensgen (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)

- 387 Matthias Schweinberger (2025): „Stumme Videos“. Aufmerksamkeitslenkende Moderation von Demonstrationsexperimenten
ISBN 978-3-8325-5930-4 50.50 EUR
- 388 Rike Große-Heilmann (2025): Entwicklung fachdidaktischen Wissens zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5943-4 51.00 EUR (open access)
- 389 Lion Cornelius Glatz (2025): Eine vergleichende Betrachtung der Überzeugungskraft von Experimenten zum Teilchenmodell
ISBN 978-3-8325-5954-0 42.00 EUR (open access)
- 390 Rasmus Viefers (2025): Förderung der Variablenkontrollstrategie im Sachunterricht
ISBN 978-3-8325-5968-7 44.50 EUR (open access)
- 391 Luc Broder Albrecht (2025): Kritisches Denken in der Chemielehrer*innenbildung. Eine konzeptionell-empirische Studie zur Integration und Operationalisierung
ISBN 978-3-8325-5970-0 57.00 EUR (open access)
- 392 Anna Weißbach (2025): Reflexion von Physikunterricht. Entwicklung und Validierung eines Testinstruments mit Assessment-Feedback zur Reflexionsfähigkeit Physik-Lehramtsstudierender
ISBN 978-3-8325-5977-9 51.50 EUR (open access)
- 393 Robert Gieske (2025): Förderung fachwissenschaftlicher und kommunikativer Kompetenzen von Schüler*innen durch Disaggregate Instruction im Fach Chemie. Konzeption und Durchführung einer vergleichenden Interventionsstudie zur Analyse der Wirksamkeit sprachsensibler Unterrichtsansätze in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5984-7 51.00 EUR (open access)
- 394 Thomas Sean Weatherby (2025): Talking Circuits. The Development and Assessment of a Digitally-Scaffolded, Collaborative Method for Teaching and Learning Electrical Circuits in Early Secondary Schools
ISBN 978-3-8325-6008-9 57.00 EUR (open access)
- 395 Julia Welberg (2025): Wen interessiert's? Quantitative Untersuchungen der Zusammenhänge der Neigungen zu empathischer und systematischer Denkweise und Interesse an Physik
ISBN 978-3-8325-6021-8 42.00 EUR (open access)
- 396 Sebastian Nickel (2026): Repräsentationskompetenzen im Fach Chemie. Eine empirische Untersuchung zur Dimensionalität des Konstrukts und zu dessen Zusammenhang mit Fachwissen und räumlichen Fähigkeiten
ISBN 978-3-8325-6074-4 55.00 EUR (open access)
- 397 Manuel Becker (2026): Der Energie-Feld-Ansatz: Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes für den Energieunterricht der Sekundarstufe II
ISBN 978-3-8325-6079-9 53.50 EUR (open access)

398 Sevan Khagy (2026): Lernen durch Erklären – Entwicklung und Evaluation eines Seminar-konzepts zur Förderung der Sach- und Erklärkompetenz von Chemie-Lehramtsstudierenden
ISBN 978-3-8325-6081-2 52.50 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

Der Mangel an qualifizierten Chemielehrkräften steht u. a. im Zusammenhang mit den hohen Studienabbruchquoten im Fach Chemie und unterstreicht die Notwendigkeit einer gezielten Förderung des Fachwissenserwerbs in der Studieneingangsphase. Erfolgreiches Lernen beruht dabei auf der Aktivierung kognitiver Prozesse, die u. a. durch das eigenständige Erstellen von Erklärungen angeregt werden können.

Vor diesem Hintergrund wurde die Wirksamkeit der Methode „Lernen durch Erklären“ zur Förderung des Fachwissens und der Erklärkompetenz von Chemie-Lehramtsstudierenden ($N = 201$) empirisch untersucht. In einem Begleitseminar zur Vorlesung „Allgemeine Chemie“ im ersten Studiensemester wurden verschiedene lernvideobasierte Umsetzungsformen analysiert. Verglichen wurden selbsterstellte Lernvideos und eigenständige schriftliche Erklärungen zu fremderstellten Lernvideos. Die Erklärkompetenz wurde mithilfe eines Kodiermanuals bewertet und der Lernzuwachs über einen Prä-Post-Follow-Up-Fachwissenstest erfasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Generieren eigener Erklärungen einen signifikanten Beitrag zum langfristigen Wissenserwerb leisten kann. Hinsichtlich des kurzfristigen Lernerfolgs erwies sich das Verfassen schriftlicher Erklärungen wirksamer als die Erstellung videobasierter Erklärungen. Insgesamt konnte empirisch nachgewiesen werden, dass Lernen durch Erklären eine effektive Methode ist, um den Fachwissenserwerb von Studierenden gezielt und nachhaltig zu fördern.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-6081-2