

Rasmus Viefers

Förderung der Variablenkontrollstrategie im Sachunterricht



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 390

Rasmus Viefers

Förderung der Variablenkontrollstrategie im Sachunterricht

Wirksamkeit verschiedener Selbstlernmaterialien in
Abhängigkeit von individuellen Lernervoraussetzungen

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 2025

ISBN 978-3-8325-5968-7

ISSN 1614-8967

DOI 10.30819/5968

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>

Rasmus Viefers

Förderung der Variablenkontrollstrategie im Sachunterricht

Wirksamkeit verschiedener Selbstlernmaterialien
in Abhängigkeit von
individuellen Lernervoraussetzungen

Förderung der Variablenkontrollstrategie im Sachunterricht

Wirksamkeit verschiedener Selbstlernmaterialien in Abhängigkeit
von individuellen Lernervoraussetzungen

Der Fakultät für Physik der
Universität Duisburg-Essen vorgelegte
Dissertation zur Erlangung des
Doktorgrades der Naturphilosophie
Dr. phil. nat.

Von
Rasmus Maximilian Viefers
aus Duisburg

Erstgutachterin:	Frau Prof. Dr. Heike Theyßen
Zweitgutachterin:	Frau Prof. Dr. Wodzinski

Eingereicht am:	20.06.2024
Tag der Disputation:	13.09.2024

Bereits veröffentlichte Teile dieser Arbeit

Viefers, R., Theyßen, H. & Schreiber, N. (2018). Experimentelle Fähigkeiten in der Grundschule diagnostizieren und individuell fördern. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1.

Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/865/1002>

Viefers, R., Theyßen, H. & Schreiber, N. (2018). Individuelle Förderung experimenteller Fähigkeiten in der Grundschule -Pilotierungsergebnisse. In C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik; 38, S. 819-822). Regensburg: Universität Regensburg. Verfügbar unter https://www.pe-docs.de/volltexte/2018/15495/pdf/Maurer_2017_Qualitaetsvoller_Chemie_und_Physikunterricht.pdf

Rau-Patschke, S., Gryl, I., Rumann, S., Bernhard, M., Ebers, M., Fletcher, S., Holzapfel, M., Kania, T. M., Kleinteich, A., Mambrey, S., Manzel, S., Ohlenforst, S., Roll, H., Schmiemann, P., Schreiber, N., Sowinski, M., Stachelscheid, K., Theyßen, H., Viefers R., & Walpuski, M. (2018). Methodische Herangehensweisen für die Erforschung des Übergangs vom Sachunterricht in den Fachunterricht der Sekundarstufe I. GDSU-Journal (8), 110-134.

Verfügbar unter: https://gdsu.de/sites/default/files/gdsu-info/files/110_134_rau.pdf

Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird die Förderung des Verständnisses der Variablenkontrollstrategie mithilfe von Unterstützungsangeboten in Form von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen untersucht. Bisherige Studien fokussieren vor allem auf den Erwerb der Variablenkontrollstrategie in der Sekundarstufe I und II. Ebenfalls finden sich keine vergleichenden Untersuchungen von geeigneten Unterstützungsangeboten zur Förderung der Variablenkontrollstrategie in der Grundschule. Solche Unterstützungsangebote sind aus der schulischen Perspektive interessant, um der besonders heterogenen Schülerschaft der Grundschule gerecht zu werden. Für diese ist wünschenswert, Unterstützungsangebote in einer Form zur Verfügung zu stellen, mit der sich die Variablenkontrollstrategie weitgehend eigenständig erarbeiten lässt. Dies würde der Lehrkraft ermöglichen, auf individuelle Lernschwierigkeiten einzugehen, während die anderen Schülerinnen und Schüler in ihrem individuellen Tempo weiter das Lernziel erarbeiten können.

Diese Arbeit soll dazu beitragen, die oben angeführte Forschungslücke zu schließen. Ebenfalls wird hier untersucht, ob bestimmte Gruppen von Lernenden mit verschiedenen ausgeprägten Lernervoraussetzungen (Lesefähigkeit, Selbstkonzept, Selbstregulationsfähigkeit, Vorwissen) bei der Förderung des Verständnisses der Variablenkontrollstrategie mehr von Lösungsbeispielen oder von gestuften Lernhilfen profitieren.

Zur Untersuchung der Unterstützungsangebote wurden auf die Förderung der Variablenkontrollstrategie-bezogenen Fähigkeiten abgestimmte Interventionsmaterialien entwickelt und in einer Interventionsstudie in verschiedenen Grundschulen eingesetzt. Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Materialien wurde ein auf das Lernziel (Förderung von Variablenkontrollstrategie-bezogenen Fähigkeiten) abgestimmter Test entwickelt und im Prä-Post-Design eingesetzt. Zusätzlich wurde eine Baselinegruppe mit Schülerinnen und Schülern untersucht, in der nur die Tests eingesetzt wurden, um die gefundenen Ergebnisse der Interventionsstudie bzgl. eines Testwiederholungseffekts abzusichern.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Lernenden der Interventionsgruppe unabhängig davon, mit welchen Unterstützungsangeboten sie arbeiteten, signifikant mehr dazulernten als diejenigen der Baselinegruppe. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass beide Unterstützungsangebote, ohne dass die Lernervoraussetzungen

berücksichtigt wurden, gleichermaßen effektiv beim Erwerb von Variablenkontrollstrategie-bezogenen Fähigkeiten waren.

Wurden die Lernervoraussetzungen miteinbezogen, konnte für Lernende mit einem niedrigen Vorwissen, einer geringen Lesekompetenz, einer geringen Selbstregulationskompetenz und einem niedrigen Selbstkonzept ein signifikant größerer Lernzuwachs festgestellt werden, wenn diese mit Lösungsbeispielen arbeiteten.

Summary

This dissertation examines the promotion of understanding of the control-of-variables strategy with the help of learning material in the form of worked out examples and incremental scaffolds. Previous studies have mainly focused on the acquisition of the control-of-variables strategy on secondary level. There are also no comparative studies of suitable learning material to promote the control-of-variables strategy in elementary school. Such learning material are interesting from a school perspective in order to cope with the students' heterogeneity at elementary school. For them, it is desirable to provide learning material in a form that allows them to learn the control-of-variables strategy largely independently. This would enable the teacher to respond to individual learning difficulties, while the other pupils can continue to work on the learning objective at their own pace.

This dissertation should contribute to closing this research gap. It also investigates whether certain groups of learners with different prerequisites abilities (reading abilities, self-concept, self-regulation ability, prior knowledge) benefit more from worked-out-examples or incremental scaffolds when promoting understanding of the control-of-variables strategy.

To investigate the support offered, intervention materials tailored to the promotion of the control-of-variables strategy were developed and used in an intervention study in various elementary schools. To investigate the effectiveness of the materials, a test tailored to the learning objective (promoting understanding of the control-of-variables strategy) was developed and used in a pre-post design. In addition, a baseline group of pupils only performed the tests in order to validate the results of the intervention study with regard to a test repetition effect.

The results of the study show that the learners in the intervention group learn significantly more than those in the baseline group, regardless of which learning material they have worked with. Furthermore, it was shown that both types of support were equally effective in the acquisition of control-of-variables strategy skills, without taking learner prerequisites into account.

When learner prerequisites were taken into account, learners with low prior knowledge, low reading competence, low self-regulation competence and low self-concept were found to make significantly greater learning gains when working with worked-out-examples rather than incremental scaffolds.

Inhaltsverzeichnis

Bereits veröffentlichte Teile dieser Arbeit	i
Zusammenfassung	ii
Summary	iv
1 Einleitung.....	5
1.1 Zielsetzung der Arbeit.....	6
1.2 Rahmenbedingungen der Arbeit	7
1.3 Struktur der Arbeit	9
Theorieteil.....	11
2 Das naturwissenschaftliche Experiment.....	11
2.1 Begriffsklärung „Experiment“	11
2.2 Experimentelle Fähigkeiten	12
2.3 Modellierung des Experiments	13
3 Variablenkontrollstrategie.....	21
3.1 Begriffsklärung „Variablenkontrollstrategie“	21
3.2 Schwierigkeiten beim Erlernen und Anwenden der VKS	25
3.3 Förderung von VKS-bezogenen Fähigkeiten.....	29
3.4 Schlussfolgerungen für die Grundschule	31
4 Unterstützungsangebote.....	33
4.1 Wahl der Unterstützungsangebote	33
4.1.1 Lernen und die <i>cognitive load theory</i>	34
4.1.2 Lösungsbeispiele	36
4.1.3 Gestufte Lernhilfen	41
4.1.4 Vergleich von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen.....	44
4.2 Lernervoraussetzungen	46
5 Ziele und Fragestellungen	51
5.1 Forschungsfragen	52

5.2	Entwicklungsziel und -fragen	53
6	Studiendesign	55
	Entwicklungsteil	59
7	Intervention	59
7.1	Grundstruktur der Unterstützungsangebote	61
7.1.1	Gestaltung der Arbeitshefte.....	64
7.2	Arbeitshefte - Lösungsbeispiele.....	70
7.3	Arbeitshefte - gestufte Lernhilfen	75
8	Testentwicklung	81
8.1	Lesekompetenz.....	81
8.2	Selbstregulationskompetenz.....	83
8.3	Selbstkonzept	84
8.4	Motivation und cognitive load	85
8.5	VKS-Test.....	87
8.5.1	Interpretation-Nutzungs-Argument.....	88
8.5.2	Abschließende Betrachtung des INA	103
	Empirischer Teil	105
9	Beschreibung der Stichprobe.....	105
10	Ablauf der Testung	107
11	Ablauf der Intervention.....	111
11.1	Exkurs “Nutzung der Hilfekarten“.....	112
12	Beschreibung der Auswertungsmethodik.....	113
12.1	Gruppenvergleiche mittels Varianzanalyse.....	113
12.2	Vorgehen bei der eingesetzten Clusteranalyse.....	118
13	Beantwortung der Entwicklungsfragen.....	119
13.1	Entwicklungsfrage 1.....	119

13.2	Entwicklungsfrage 2.....	126
13.3	Beantwortung und Diskussion der Entwicklungsfragestellungen	128
14	Beantwortung der Forschungsfragen	131
14.1	Forschungsfrage 1	131
14.2	Forschungsfrage 2	136
14.2.1	Ergebnisse der Clusteranalyse.....	136
14.3	Forschungsfrage 3	141
14.3.1	Ergebnisse zu FF 3	142
14.3.2	Beantwortung der FF 3.....	148
14.4	Diskussion zu den Forschungsfragen.....	149
15	Zusammenfassung und Ausblick.....	151
15.1	Zusammenfassung der Arbeit	151
15.2	Ausblick	156
16	Literaturverzeichnis	159
17	Abbildungsverzeichnis.....	167
18	Tabellenverzeichnis	169
19	Anhang.....	171
20	Danksagung	173

1 Einleitung

Das naturwissenschaftliche Experimentieren ist ein wichtiger Bestandteil des naturwissenschaftlichen Arbeitens. So bildet das Experiment auch einen festen Teil der Lehrpläne des naturwissenschaftlichen Unterrichts sowohl im Sachunterricht der Primarstufe (Ministerium für Schule und Bildung, 2021) als auch im Fachunterricht der weiterführenden Schulen (Ministerium für Schule und Bildung, 2019, 2022). In den entsprechenden Lehrplänen wird u.a. gefordert, dass die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden S' uS) selbstständig experimentieren. Natürlich soll ein solcher selbstständiger Experimentierprozess von einem reinen plan- und ziellosen Arbeiten mit Experimentiermaterialien unterschieden werden. Dies bedeutet, dass die S' uS erfolgreich experimentieren.

Um zu experimentieren, sind verschiedene Kompetenzen erforderlich. Bspw. müssen neben dem Formulieren einer Fragestellung oder dem Notieren der Ergebnisse (Schreiber, 2012, S. 30) auf Grundlage der aus dem Experiment gewonnen Daten, Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Dies ist nur möglich, wenn die Ergebnisse des Experiments unkonfundiert sind. Dies ist dann der Fall, wenn nicht mehrere Variablen in einem Experiment gleichzeitig untersucht wurden. Um solche unkonfundierten Daten zu gewinnen, muss beim Experiment die Variablenkontrollstrategie (im Folgenden VKS) beachtet werden. Hierunter wird verstanden, dass geklärt wird, welche Variable mit dem Experiment untersucht werden soll, welche Variable verändert werden soll und welche Variablen nicht verändert werden dürfen (Siler & Klahr, 2012). Da die VKS in allen Phasen des Experimentierprozesses verortet werden kann (Kalthoff, 2019, S. 21) und bei Missachtung keine belastbaren Ergebnisse aus einem Experiment gewonnen werden können, wird hier das Verständnis der VKS als eine zentrale Kompetenz zum erfolgreichen Experimentieren verstanden. Um die VKS richtig anzuwenden, werden bestimmte Fähigkeiten (Schwichow, 2015) benötigt. Diese werden im Folgenden als „VKS-bezogene Fähigkeiten“ beschrieben.

In vielen Studien wird das Verständnis der VKS oder der Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten untersucht (Bullock & Sodian, 2003; Chen & Klahr, 1999; Kalthoff, 2019; Vorholzer, 2015). Die bisherige Forschung in diesem Bereich bezieht sich vor allem auf S' uS der Sek I bzw. Sek II, während für den Bereich der Primarstufe weniger Forschungsarbeiten (z.B. Bohrmann, 2017; Brandenburger, Salim, Schwichow, Wilbers & Mikelskis-Seifert, 2022) vorliegen. Offen bleibt, wie wirksam der Einsatz von Unterstützungsangeboten zur Förderung des Verständnisses der VKS in Bezug auf Lerner mit verschiedenen Voraussetzungen ist. Dabei ist

unklar, ob bestimmte Unterstützungsangebote besonders hilfreich für S' uS mit bestimmten Lernervoraussetzungen sind.

Die hier vorgestellte Studie soll dazu beitragen, diese Forschungslücke zu schließen. Die Studie entstand im Rahmen eines von insgesamt acht Teilprojekten des vom Land NRW geförderten Graduiertenkollegs SUSE I an der Universität Duisburg-Essen.

In den acht Teilprojekten wurde der Übergang des vielperspektivischen Sachunterrichts der Grundschule hin zum Fachunterricht der weiterführenden Schule aus Sicht der im Sachunterricht eingebetteten Fächer und des DAZ/DAF-Bereichs in den Blick genommen. Aufgrund der Forschungslage wird in dieser Arbeit, aus dem Blickwinkel des Faches Physik, die Förderung VKS bezogener Fähigkeiten mithilfe von Unterstützungsangeboten (Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen) im Sachunterricht der Grundschule in den Fokus genommen.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

In dieser Dissertationsarbeit werden Unterstützungsangebote in Form von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen zur Förderung VKS bezogener Fähigkeiten eingesetzt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit miteinander verglichen. Studien zu einem solchen Vergleich beider Unterstützungsangebote finden sich bisher nur im Bereich der Sekundarstufe I (Schmidt-Borcherding, Hänze, Wodzinski & Rincke, 2013) - nicht aber in der Grundschule. Daher ist unklar, inwieweit sich die Ergebnisse der Studie (ebd.) auf eine jüngere Zielgruppe übertragen lassen. Da sich Lösungsbeispiele und gestufte Lernhilfen nicht nur bzgl. ihrer Struktur, sondern auch bezogen auf ihre Anforderungen an die Lernenden unterscheiden, ist es möglich, dass Lernende mit unterschiedlich ausgeprägten Lernervoraussetzungen besser mit dem einen oder dem anderen Unterstützungsangebot arbeiten. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der stark heterogenen Lerngruppen in der Grundschule (Kluczniok, Große & Roßbach, 2011, S. 180), in der noch alle S' uS aus einem Einzugsgebiet zusammen unterrichtet werden, interessant. Dies führt zu dem Forschungsziel der Arbeit:

Forschungsziel

Empirischer Vergleich der Lernwirksamkeit von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen zum Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule unter Berücksichtigung verschiedener Lernervoraussetzungen.

Um dieses Forschungsziel zu erreichen, sind Interventionsmaterialien in Form von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen erforderlich. Um einen auf Lernvoraussetzungen bezogenen Vergleich zwischen beiden Unterstützungsangeboten ziehen zu können, muss sowohl die Arbeit mit den Lösungsbeispielen als auch mit den gestuften Lernhilfen zur Förderung des Verständnisses der VKS führen. Hieraus ergibt sich folgendes Entwicklungsziel der Arbeit:

Entwicklungsziel

Entwicklung vergleichbarer Interventionsmaterialien, die auf Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen basieren, und den Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten fördern.

Um abzusichern, dass durch die Arbeit mit den Interventionsmaterialien der Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten gefördert wird, wurden S' uS, die mit den Interventionsmaterialien gearbeitet haben, mit solchen verglichen, die nur die eingesetzten Tests bearbeiteten. Zusätzlich wurden die kognitive Belastung und Motivation der S' uS bei der Arbeit mit den Unterstützungsangeboten erfasst, um diese ggf. bei dem Vergleich der Unterstützungsangebote miteinbeziehen zu können.

1.2 Rahmenbedingungen der Arbeit

Die Interventionsstudie wurde an verschiedenen Grundschulen durchgeführt und ist in dem Sachunterricht verortet. Der Sachunterricht ist ein grundschulspezifisches Fach das in der unten beschriebenen Form nicht an den weiterführenden Schulen fortgeführt wird.

Durch den Sachunterricht der Grundschule soll den S' uS ermöglicht werden, „sich ihre Lebenswelt weiter zu erschließen, sich darin zu orientieren, mitzuwirken und verantwortungsbewusst darin zu handeln und diese mitzugestalten.“ (Ministerium für Schule und Bildung, 2021, S. 178). Um diesem Ziel gerecht zu werden, wird im Sachunterricht Wissen in unterschiedlichsten Themenbereichen vermittelt, z.B. Demokratie und Gesellschaft, Körper und Gesundheit oder Natur und Umwelt (Ministerium für Schule und Bildung, 2021). Daher wird der Sachunterricht der Grundschule auch als ein vielperspektivisches Fach bezeichnet (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013). Das Fach umfasst nach ebd. folgende Perspektiven:

- Sozialwissenschaftliche Perspektive
- Naturwissenschaftliche Perspektive
- Geografische Perspektive
- Historische Perspektive
- Technische Perspektive

Die in dieser Dissertationsarbeit geleistete Forschung ist der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts zuzuordnen.

Das Ziel der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts ist es, „dass sich die Schülerinnen und Schüler zunehmend belastbare naturwissenschaftliche Konzepte und Vorstellungen und damit zusammenhängende Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen aneignen“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 37).

Hierdurch kann bereits in der Grundschule eine Grundlage für die weitere naturwissenschaftliche Bildung im Fachunterricht der weiterführenden Schulen gelegt werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, bezieht sich der Sachunterricht maßgeblich auf:

- die Besprechung von Naturphänomenen,
- das Vermitteln von naturwissenschaftlichen Denk-, Arbeits-, und Handlungsweisen
- sowie die Thematisierung des verantwortungsvollen Umgangs mit der Natur.

(Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 38)

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Vermittlung von naturwissenschaftlichen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen in der Grundschule. Folgt man dem Perspektivrahmen der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 39), wird darunter bspw. auch die sachorientierte Untersuchung von Naturphänomenen mithilfe von Experimenten verstanden. Dabei sollen S' uS geeignete Experimente selbstständig planen, durchführen und auswerten.

1.3 Struktur der Arbeit

Diese Arbeit ist, folgend auf die Einleitung, in drei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt, dem „Theorieteil“, (Kap. 2–6) werden zentrale Begrifflichkeiten zu experimentellen Kompetenzen definiert, die VKS wird als eine solche Fähigkeit verortet und VKS bezogene Begrifflichkeiten werden aufgeklärt (Kap. 2&3). Des Weiteren wird die grundlegende Struktur von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen vorgestellt und ihr Einsatz im Lernprozess dargestellt (Kap. 4). Aufbauend darauf werden die Forschungs- und Entwicklungsfragestellungen abgeleitet (Kap. 5) und das Studiendesign zur Beantwortung dieser Fragen wird dargestellt (Kap. 6).

Im darauffolgenden Abschnitt, dem „Entwicklungsteil“ (Kap. 7&8), werden die eingesetzten Interventionsmaterialien und Testinstrumente vorgestellt. Dabei wird der für diese Studie konzipierte VKS-Test anhand eines Interpretations-Nutzungs-Arguments beschrieben und validiert.

Auf diesen Abschnitt folgt der „empirische Teil“ der Arbeit (Kap. 10-15), in dem zunächst die Stichprobe beschrieben wird, woraufhin eine Darstellung des Ablaufs der Testung und Intervention folgt (Kap. 10-11). Daran schließt sich die Beschreibung des Vorgehens der Datenauswertung und die Beantwortung und Diskussion der Entwicklungs- und Forschungsfragen (Kap. 12 14) an. Den Abschluss bilden eine Zusammenfassung der Arbeit, Limitationen sowie ein Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten (Kap. 15).

Theorieteil

2 Das naturwissenschaftliche Experiment

Das Experiment ist eine zentrale Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Ministerium für Schule und Bildung, 2022; Nerdel, 2017, S. 115). Eine klare wissenschaftliche Fassung des Begriffs „Experiment“ erweist sich allerdings als schwierig, da vielfältige Definitionen und Ansätze existieren (vgl. Höttecke & Rieß, 2015). Deshalb erfolgt in diesem Kapitel zunächst eine Klärung des Begriffs „Experiment“. Im Anschluss wird der in dieser Arbeit verwendete Begriff der „experimentellen Fähigkeiten“ aufgeklärt, gefolgt von der Vorstellung verschiedener Modellierungsansätze zur Beschreibung des Experiments.

2.1 Begriffsklärung „Experiment“

Um den Begriff des „Experiments“ zu fassen, ist es zunächst nötig, diesen von dem Begriff des „Versuchs“ abzugrenzen (vgl. Girwidz, 2015, S. 228). Eine Möglichkeit der Differenzierung zwischen den Begrifflichkeiten findet sich bei Hartinger, Grygier, Tretter und Ziegler (2013, S. 5). Hier werden Experiment und Versuch dahingehend unterschieden, dass bei einem Experiment am Anfang eine klar formulierte Fragestellung/ Vermutung steht, die mithilfe des Experiments aufgeklärt werden soll. Dies ist, nach ebd., bei einem Versuch nicht der Fall. Hier werden den S‘ uS anfangs Handlungsanweisungen vorgegeben (ebd.). Erst nach Kenntnis der Handlungsanweisungen werden den S‘ uS Fragen, z.B. zu Vermutungen über den Ausgang des Versuchs, gestellt. Weitere Möglichkeiten der Abgrenzung finden sich bei Streller, Bolte, Dietz und La Noto Diega (2019) sowie bei Wellnitz und Mayer (2013). Nach Streller et al. (2019, S. 64) wird in einem Versuch ein Phänomen dargestellt und es besteht die Möglichkeit, Daten zu sammeln. Der Weg der Versuchsdurchführung wird dabei dem Lernenden vorgegeben. Das Experiment ist, folgt man Wellnitz und Mayer (2013), konkreter. So ist nach ebd. ein Experiment eine Möglichkeit, naturwissenschaftliche Erkenntnisse über einen geeigneten Gegenstand zu generieren. Hierzu werden Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussfaktoren, sogenannten Variablen, untersucht, indem diese gezielt variiert, konstant gehalten und gemessen werden. Bei der Untersuchung dieser Variablen hilft die VKS. Befolgt man die VKS, können fehlerhafte Untersuchungen vermieden und so neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Förderung VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule und dem Verständnis der VKS anhand von Materialien, mit denen die S' uS an konkreten Fragestellungen arbeiten (Kap. 7). Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Begriff des „Experiments“ im Sinne von Hartinger et al. (2013, S. 5) und Wellnitz und Mayer (2013) verwendet.

2.2 Experimentelle Fähigkeiten

Wie zu allen Inhalten des Unterrichts, werden auch zum Experiment durch den Lehrplan Kompetenzerwartungen formuliert. Dies soll ermöglichen, den Unterricht kompetenzorientiert zu gestalten. Hierzu wird vorgegeben, welche Kompetenzen die S' uS beim Erreichen einer bestimmten Klassenstufe erworben haben sollen.

Im Lehrplan des Sachunterrichts findet sich, bezogen auf das Experiment, die Kompetenzerwartung, dass S' uS Ausgangsfragestellungen für Experimente aus Beobachtungen ableiten und Experimente durchführen können (Ministerium für Schule und Bildung, 2021, S. 189). Diese Erwartungen werden durch den Perspektivrahmen für den Sachunterricht in Form von perspektivenbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen näher ausformuliert (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 38–39), z.B.:

„Schülerinnen und Schüler können [...] einfache Versuche zur Überprüfung von Vermutungen bzw. Widerlegung von Vermutungen beraten, planen und durchführen.“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 40)

In den Lehrplänen für die weiterführende Schule werden bestimmte Kompetenzen zusätzlich in Kompetenzbereichen zusammengefasst. Das Experimentieren wird durch den Lehrplan des Ministerium für Schule und Bildung (2022) dem Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung zugeordnet. Diese Kompetenzerwartungen werden im Folgenden durch den Lehrplan, ähnlich wie im Perspektivrahmen des Sachunterrichts, als konkretisierte Kompetenzerwartungen näher ausformuliert, z.B.:

„Die Schülerinnen und Schüler [...] konzipieren erste Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung unter Beachtung der Variablenkontrolle.“ (Ministerium für Schule und Bildung, 2022, S. 23)

In der Forschung findet sich ein ähnliches Vorgehen. So werden bspw. bei Vorholzer, Aufschnaiter und Kirschner (2016) zunächst auf das Experiment bezogene

Teilkompetenzen formuliert (weitere Möglichkeiten der Unterteilung eines Experiments werden in Kap. 2.3 beschrieben):

- Formulierung von Fragen und Hypothesen
- Planung von Untersuchungen
- Auswertung und Interpretation von Daten

Diesen Teilkompetenzen werden dann zur Konkretisierung verschiedene Fähigkeiten zugeordnet z.B.:

- „Die Schüler/innen...
- ...formulieren naturwissenschaftliche Fragestellungen [...]
- ...identifizieren abhängige, unabhängige und Kontrollvariablen in einem Experiment [...]
- ...identifizieren im Hinblick auf die Variablenkontrolle korrekt und fehlerhaft geplante Experimente [...]"
(Vorholzer et al., 2016)

Es existieren demnach verschiedene Begrifflichkeiten (perspektivenbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen, konkretisierte Kompetenzerwartungen, Fähigkeiten) zur näheren Beschreibung von Kompetenzen beim Experiment. Um in dieser Arbeit klar herauszustellen, an welchen Stellen Fähigkeiten von S' uS zum Experimentieren beschrieben werden, soll hier der Begriff „experimentelle Fähigkeiten“ Verwendung finden.

Um nun das Experiment und damit verbundene experimentelle Fähigkeiten näher zu beschreiben, existieren verschiedene Modellierungsansätze.

2.3 Modellierung des Experiments

Für die Modellierung des Experiments existieren verschiedene Ansätze. Möglichkeiten der Abgrenzung solcher Modellierungen finden sich nach Gut, Metzger, Hild und Tardent (2014) zum einen in äußerlichen Aspekten. Dies bedeutet, dass verschiedene Ansätze sich z.B. darin unterscheiden, welche konkreten experimentellen Fähigkeiten in das Modell aufgenommen werden und welche nicht.

So ist es vorstellbar, dass die Entwicklung einer Fragestellung in einem Modell als experimentelle Fähigkeit mit in die Modellierung des Experiments aufgenommen wird (z.B. Schreiber, 2012), ein anderer Modellierungsansatz die Entwicklung ei-

ner Fragestellung nicht miteinbezieht (z.B. Gut et al., 2014). Solche Modelle lassen sich demnach äußerlich, bezogen auf die Aufnahme der Entwicklung einer Fragestellung in die Modellierung, voneinander abgrenzen.

Zum anderen können nach Gut et al. (2014) Modellierungsansätze auch danach unterschieden werden, auf welcher grundlegenden Struktur eines Experiments die Modellierung experimenteller Fähigkeiten erfolgt. Als solche Strukturen können der Problemtypenansatz (Gut, Hild, Metzger & Tradent, 2017) und der Teilprozessansatz (z.B. Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009) voneinander unterschieden werden (Gut et al., 2014; Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S. 125). Beide Ansätze werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Der Problemtypenansatz

Mithilfe von naturwissenschaftlichen Experimenten sollen Fragestellungen beantwortet bzw. Probleme aufgelöst werden. Somit kann das naturwissenschaftliche Experiment als ein Prozess des Problemlösens angesehen werden (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018). Auch wenn die naturwissenschaftlichen Probleme vielfältig sind, finden sich bei experimentellen Herangehensweisen wiederkehrende Verfahren und Ansätze, die durch die Experimentierenden zur Lösungen angewendet werden, z.B.: „Untersuchung kausaler Zusammenhänge, [...], Vergleichen von Objekten, das Testen bestimmter Eigenschaften [...]“ etc. (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S. 125). Bei der Modellierung des Experiments nach Gut et al. (2014) werden diese Verfahren und Ansätze als sogenannte Problemtypen beschrieben und damit verknüpfte experimentelle Fähigkeiten dargestellt. In der experimentellen Lösung eines Problems können ein oder mehrere Problemtypen verortet sein.

Modellierungsansätze im Sinne des Problemtypenansatzes können dahingehend unterschieden werden, wie verschiedene Problemtypen voneinander abgegrenzt werden. Nach Gut-Glanzmann und Mayer (2018, S. 130–131) bestehen Ansätze, die Problemtypen anhand...

- der Art des Erkenntnisgewinns durch die Problemlösung,
- des erforderlichen Konzeptwissens oder
- des benötigten Methodenwissens unterscheiden.

Ebenfalls können Problemtypen nach Wissensinhalt voneinander differenziert werden, da je nach Experimentieraufgabe ein unterschiedliches Problemverständnis und damit einhergehend verschiedene Problemlösemethoden beobachtet werden können.

Die Modellierung eines Experiments nach dem Problemtypenansatz findet sich nach Gut et al. (2014) in dem ExKoNawi-Strukturmodell (Experimentelle Kompetenzen in den Naturwissenschaften; vgl. Tab. 2.1). Durch dieses Modell wird die Vielfalt der verschiedenen experimentbezogenen Fähigkeiten beschrieben (Gut et al., 2014). Hierzu werden Experimentieraufgaben unterschiedlichen Problemtypen zugeordnet. Mit diesen Problemtypen sind Fähigkeiten verknüpft, die zum Lösen von Aufgaben benötigt werden.

Tab. 2.1: ExKoNawi Strukturmodell (vgl. Gut et al., 2014)

Problemtypen	Fähigkeiten
kategoriengeleitetes Beobachten	Phänomene anhand gegebener Kategorien (Begriffe) beschreiben und vergleichen
skalenbasiertes Messen	quantitative Größen mit gegebenen Messinstrumenten (Skalen) genau messen
fragengeleitetes Untersuchen	korrelative Zusammenhänge zwischen gegebenen Variablen (Frage) untersuchen
effektbasiertes Vergleichen	Objekte anhand einer gegebenen Eigenschaft (ohne Messung) experimentell vergleichen

Teilprozessansatz

Ein weiterer Ansatz zur Modellierung experimenteller Fähigkeiten ist der Teilprozessansatz. Grundlage solcher Modellierungsansätze bildet häufig das SDDS-Modell (*Scientific Discovery as Dual Search*) nach Klahr und Dunbar (1988).

In dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) wird der Vorgang des *scientific reasoning*, zu dem auch das Experimentieren gezählt wird (ebd.), als Suche in zwei mentalen Räumen (Hypothesenraum und Experimentierraum) dargestellt.

Aufbauend auf diesen mentalen Räumen identifizieren ebd. drei Hauptkomponenten des *scientific reasoning*, die miteinander in Beziehung stehen:

- **Suche im Hypothesenraum (*search hypothesis space*):**
Hier soll eine Hypothese zu einer Fragestellung gefunden werden, die zur Testung herangezogen werden kann.
- **Testung von Hypothesen (*test hypothesis*):**
Bei der Testung soll ein Experiment entwickelt werden, welches Ergebnisse liefert, die für oder gegen die aufgestellte Hypothese sprechen.
- **Analyse von Evidenz (*evaluate evidence*):**
Entscheidung über Annahme, Ablehnung oder weitere Prüfung der Hypothese.

Bei diesen drei Komponenten ist zu beachten, dass es sich nicht um eine feste Abfolge von Phasen handelt, sondern vielmehr um eine Art Kreislauf, in dem auch Rückschritte möglich sind. Kann z.B. eine Hypothese nicht verifiziert werden, ist eine erneute Suche im Hypothesenraum nötig oder eine weitere Testung der Hypothese.

Im Teilprozessansatz wird ein Experiment als Abfolge von Schritten gesehen (Gut et al., 2014; Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S. 125). Dabei findet sich in Modellierungen häufig die Unterteilung des Experiments in die Phasen: Planung, Durchführung und Auswertung (Emden & Sumfleth, 2012), wobei diese Phasen je nach Modell unterschiedlich ausdifferenziert werden. Meist sind experimentelle Fähigkeiten dabei mit einer Phase verknüpft oder können in dem Übergang zwischen zwei Phasen verortet werden (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Schreiber et al., 2009; Vorholzer et al., 2016).

Als Beispiel für eine Modellierung, die dem Teilprozessansatz folgt, soll hier das eXkomp-Modell nach Schreiber et al. (2009) kurz vorgestellt werden.

Ziel der Modellierung ist es, ein Modell zu entwickeln, anhand dessen verschiedene Messmethoden (schriftlich, Simulation und Realexperiment) der experimentellen Fähigkeiten validiert und verglichen werden können. Schreiber et al. (2009) unterteilen das Experiment in die Phasen der Planung, Durchführung und Auswertung (vgl. Abb. 2.1).



Abb. 2.1: Modell experimenteller Kompetenz nach Schreiber et al. (2009)

Mit jeder dieser Phasen sind bestimmte Fähigkeiten verbunden. In der Planungsphase sollen, aufbauend auf Fragen, Hypothesen bzw. Erwartungen formuliert werden. Schreiber et al. (2009) stellten dabei besonders heraus, dass das Klären von vorgegebenen Fragestellungen ein ebenso wichtiger Bestandteil der naturwissenschaftlichen Praxis ist wie das eigenständige Entwickeln solcher Fragestellungen.

Zwischen den Phasen der Planung und der Durchführung verortet ebd. die Fähigkeit sowohl gedanklich als auch reell eine Versuchsanordnung zu entwickeln.

In der anschließenden Durchführung sind dann Fähigkeiten bzgl. des Geräteaufbaus, des Messens und der Dokumentation erforderlich.

Vor der Auswertung ist es wichtig, evtl. aufgetretene Probleme oder Fehler zu erkennen und dieses Wissen bei einer erneuten Planung bzw. Durchführung mit einfließen zu lassen. In der Auswertung kommen Fähigkeiten zum Tragen wie z.B. das Aufbereiten von Messdaten oder die Interpretation von Ergebnissen (ebd.).

Wie bei der Beschreibung des SDDS-Modells bereits dargestellt wurde, ist auch in dem eXkomp-Modell zu beachten, dass Planung, Durchführung und Auswertung nicht nur in dieser festen Abfolge durchlaufen werden müssen. Nach Abschluss der Phase der Auswertung muss, je nach Ergebnis, mit einer neuen Planung begonnen werden oder es sind Rückschritte, bspw. von der Durchführung zurück in die Planung, notwendig.

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, sollen bereits S' uS in der Grundschule im Sachunterricht experimentieren: „Schülerinnen und Schüler können [...] einfache Versuche zur Überprüfung von Vermutungen bzw. zur Widerlegung von Vermutungen beraten, planen und durchführen und auswerten.“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 40)

Diese Kompetenzerwartungen passen zu der Modellierung der experimentellen Fähigkeiten nach dem Teilprozessansatz und der Unterteilung des Experiments in die Phasen „Planung, Durchführung und Auswertung“. Da in dieser Arbeit S' uS beim Experimentieren in der Grundschule untersucht werden, soll hier das Experiment als eine Abfolge von Teilprozessen verstanden werden.

Übergeordnete Konzepte

Vergleicht man verschiedene Modellierungsansätze, fällt auf, dass, neben konkreten Fähigkeiten, die Phasen bzw. Problemtypen zugeordnet werden können, Konzepte existieren, die im gesamten Prozess des Experiments bzw. mehreren Teilen des Prozesses beachtet werden müssen (Kalthoff, 2019, S. 21). Eine Beschreibung solcher Konzepte findet sich als „concepts of evidence“ bei Gott und Duggan (1996). Sie ordnen verschiedene experimentbezogene Konzepte in drei Kategorien ein: Design, Messung und Datenaufbereitung (ebd.).

Kalthoff (2019) zeigte in ihrer Dissertationsarbeit auf, dass in diesen Kategorien verankerte Konzepte (Variablenkontrollstrategie → Design; Umgang mit Messdaten → Messung) sowohl in mehreren Phasen des Teilprozessansatzes als auch in mehreren Problemtypen zu finden sind. Als besonders stellt sich das Konzept der

VKS heraus, da es zumindest in Ansätzen, sowohl in allen Teilprozessen als auch in allen Problemtypen verortet werden kann (Kalthoff, 2019, S. 21).

In dem Perspektivrahmen für den Sachunterricht (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013) wird die Beherrschung des Konzepts der VKS wie folgt ausformuliert: „Schülerinnen und Schüler können: die Bedeutung gezielter Parametervariation bei Versuchen verstehen und solche Variablenveränderungen selbstständig durchführen“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 40).

Auch in der weiterführenden Schule sollen die S' uS „Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung unter Beachtung der Variablenkontrolle“ (Ministerium für Schule und Bildung, 2022, S. 23) konzipieren können.

Dies zeigt, dass das Konzept der VKS nicht nur aus Forschungsperspektive, sondern auch aus schulischer Perspektive eine zentrale Rolle im Experiment darstellt. Daher wird im Folgenden das Konzept der VKS definiert und näher beschrieben.

3 Variablenkontrollstrategie

Bei der VKS handelt es sich um ein zentrales Konzept der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (Schwichow, Christoph & Härtig, 2015). Die Anwendung der VKS ermöglicht es, Experimente so zu gestalten, dass Ursache-Wirkungsbeziehungen aufgeklärt werden können. Folgt man Kalthoff (2019, S. 21), kann das Konzept der VKS sowohl in allen Problemtypen des Problemtypenansatzes als auch in allen Teilprozessen des Teilprozessansatzes in Teilen verortet werden. Ist das Konzept der VKS verstanden, kann es in verschiedenen experimentellen Kontexten angewendet werden. Hierzu werden mit der VKS verknüpfte Fähigkeiten benötigt (Schwichow, 2015).

In diesem Kapitel erfolgt zunächst eine Klärung des Begriffs VKS anhand eines Beispiels zur Umsetzung der VKS im Experiment. Ferner wird ein Modell zur Beschreibung des Verständnisses der VKS vorgestellt (vgl. Kap. 3.1). Im daran anschließenden Kapitel 3.2 werden verschiedene Schwierigkeiten und Fehlvorstellungen von S' uS bzgl. der VKS und ihrer Anwendung dargestellt. Das letzte Kapitel dieses Abschnitts thematisiert Forschungsansätze zur Förderung des Verständnisses der VKS (Kap. 3.3).

3.1 Begriffsklärung „Variablenkontrollstrategie“

Umsetzung VKS

Bei der VKS handelt es sich um ein Konzept, um Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen Variablen aufzuklären. Die VKS beschreibt, wie die Wirkung der Änderung einer Variable (unabhängige Variable; UV) auf eine andere Variable (abhängige Variable; AV) untersucht werden soll. Die Änderung der UV stellt dabei die vermutete Ursache für eine mögliche beobachtbare Änderung der AV dar. Welche Punkte zur richtigen Umsetzungen der VKS zu beachten sind, beschreiben Siler und Klahr (2012) (Tab. 3.1; linke Spalte).

Um die Änderung der AV eindeutig auf die Änderung der UV zurückführen zu können, muss die UV systematisch verändert werden. Die VKS sagt aus, dass in einem Experiment immer nur eine UV untersucht werden darf. Des Weiteren müssen außer der UV alle anderen Variablen, die Einfluss auf die AV haben könnten, konstant gehalten (kontrolliert) werden. Diese werden als Kontrollvariablen

(KVen) bezeichnet. Wird nicht darauf geachtet, die KVen konstant zu halten, sind Änderungen der AV nicht eindeutig auf eine Ursache zurückführbar und das Experiment wird als konfundiert bezeichnet. Für die Untersuchung mehrerer UVen müssen demnach auch mehrere Experimente mit jeweils angepassten und kontrollierten KVen durchgeführt werden.

Als Ergebnis eines solchen Experiments kann im einfachsten Fall festgehalten werden, ob die untersuchte UV einen Einfluss auf die AV hat oder nicht. Mit komplexeren Experimenten können die Zusammenhänge zwischen UV und AV auch quantifiziert werden.

Tab. 3.1 veranschaulicht die Umsetzung der VKS im Experiment nach Siler und Klahr (2012, S. 139) an einem Beispiexperiment zur Untersuchung von „Murmelbahnen“.

In diesem Beispiexperiment soll untersucht werden, ob die Zeit (AV), die eine Murmel benötigt, um eine Bahn herunterzurollen, von dem Winkel der Murmelbahn (hier Höhe der Bahn; UV) abhängt. Die Zeit wird indirekt über den Vergleich zweier Bahnen erfasst, indem festgehalten wird, auf welcher die Murmel schneller das Ende der Bahn erreicht. Als zusätzliche Variablen können neben der Höhe der Bahn auch die Beschaffenheit des Bodens der Bahn und die verwendete Murmel variiert werden.

Tab. 3.1: Gegenüberstellung VKS nach Siler und Klahr (2012); Murmelbahnexperiment

VKS nach Siler und Klahr (2012)	Beispiexperiment „Murmelbahn“
Identifizieren einer UV.	Höhe der Bahn
Konstanthalten anderer Variablen, die möglicherweise das Experiment beeinflussen.	KV: Boden der Bahn, Größe der Murmel usw.
Durchführung des Experiments.	Vergleich der Ergebnisse für verschiedene Ausprägungen der UV; hohe Bahn, niedrige Bahn etc.
Stellt sich heraus, dass sich die AV für verschiedene Ausprägungen der UV verändert, besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen der AV und der UV.	Unterschiedliche Zeiten für unterschiedliche Höhen. Dies bedeutet: Die Höhe der Bahn bestimmt, wie viel Zeit die Murmel zum Herunterrollen benötigt.

VKS und Messreihen

Obwohl (ohne Beachtung von Messunsicherheiten) bereits der Vergleich zweier Bedingungen (Ausprägungen der UV) eine Aussage darüber zulässt, ob die UV bei den untersuchten Ausprägungen einen Einfluss auf die AV hat, kann daraus noch keine Aussage über die Art dieses Zusammenhangs abgeleitet werden. Deshalb wird, wo möglich, die UV systematisch über mehrere Ausprägungen hinweg variiert (Messreihe). Des Weiteren wird, um die Auswirkung von Messfehlern oder Ausreißern zu minimieren, meist dieselbe Messung mehrfach durchgeführt (Messwiederholung).

Durch weitere Messreihen sollte ebenfalls abgesichert werden, dass die Wahl der KVen die Ergebnisse des Experiments nicht beeinflusst.

Spielt es z.B. eine Rolle, ob bei der Durchführung des Beispielsexperiments auf beiden Bahnen die kleine oder die große Murmel Verwendung findet? Oder existieren Kombinationen von KVen, deren Interaktionen zu anderen Ergebnissen führen? Dies zeigt, dass bereits zur Beantwortung der auf den ersten Blick simplen Frage nach dem Einfluss der Höhe auf die Rollzeit eine Vielzahl von Überlegungen angestellt werden müssen.

Um die Durchführung von Experimenten in dieser Studie altersgemäß zu gestalten (Probanden im Grundschulalter) und einen klaren Fokus auf die Beherrschung der VKS zu setzen, wurde auf die Aufnahme von Messreihen und Messwiederholungen in dieser Arbeit verzichtet. So bezieht sich im Folgenden der Ausdruck „Experiment“ nur auf den Vergleich von Ergebnissen, die bei der Gegenüberstellung von zwei Ausprägungen der UV entstanden sind (z.B. Vergleich hohe Bahn mit niedriger Bahn). Hierdurch kann geprüft werden, ob die UV einen Einfluss auf die AV hat. Auf weiterführende exakte Zeitmessungen oder weitere systematische Untersuchungen wird hier verzichtet.

Beherrschung der VKS

Die VKS anzuwenden und umzusetzen wurde bis hierhin allgemein als Verständnis der VKS beschrieben. Folgt man Chen und Klahr (1999), ist dieses Verständnis bzw. die Beherrschung der VKS nicht eine einzelne experimentelle Fähigkeit, sondern setzt sich aus verschiedenen Teilfähigkeiten zusammen:

“Procedurally, CVS is a method for creating experiments in which a single contrast is made between experimental conditions. The full strategy involves not only creating such contrasts, but also being able to distinguish between confounded and unconfounded experiments. The logical aspects of CVS include the ability to make appropriate inferences from the outcomes of unconfounded experiments as well as an understanding of the inherent indeterminacy of confounded experiments.” (Chen & Klahr, 1999) (engl. CVS: control of variables strategy)

Die in diesem Zitat beschriebenen Teilfähigkeiten werden im Folgenden „VKS-bezogene Fähigkeiten“ genannt. Eine weitere Ausdifferenzierung der VKS-bezogenen Fähigkeiten findet sich in Schwichow, Christoph, Boone und Härtig (2016). Diese unterteilen, aufbauend auf der Beschreibung der VKS nach Chen und Klahr (1999), das Verständnis der VKS in vier Facetten. Verknüpft mit diesen Facetten sind jeweils verschiedene VKS-bezogene Fähigkeiten. Im Folgenden werden die im Schaubild (Abb. 3.1) gezeigten Facetten und die damit verbundenen VKS-bezogenen Fähigkeiten näher beschrieben.

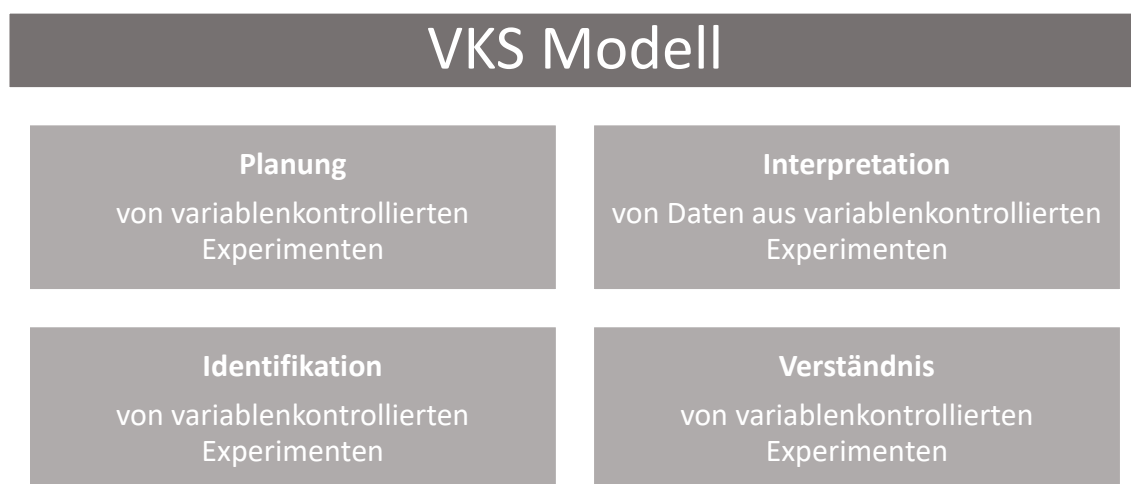


Abb. 3.1: VKS Modell nach Schwichow (2015, S. 56)

Planung:

Hierunter wird verstanden, dass die S' uS die Fähigkeit haben, die VKS bei der experimentellen Planung umzusetzen. Die UV wird verändert, die KVen werden konstant gehalten und die AV wird gemessen. Hierfür müssen die Lernenden Unterschiede und Bedeutung von AV, UV und KVen im experimentellen Kontext kennen und bei der Planung berücksichtigen.

Identifikation:

Unter Identifikation wird die Fähigkeit verstanden, ein Experiment dahingehend zu beurteilen, ob es den Regeln der VKS genügt oder nicht. Ähnlich wie unter dem Punkt Planung muss die Bedeutung von UV, AV und KVen bekannt sein. Dabei ist hier kein eigenständiges Umsetzen der VKS nötig, sondern diese muss soweit verinnerlicht sein, dass ihr Befolgen oder Nichtbefolgen durch das Analysieren von vorgegebenen Beispiexperimenten erkannt werden kann.

Interpretation:

Um diese Facette zu erfüllen, benötigen die Lernenden die Fähigkeit, aus Daten, die aus VKS Experimenten gewonnen wurden, richtige Schlüsse zu ziehen. Hierfür ist vor allem ein Verständnis dahingehend nötig, dass nur Aussagen bezüglich der Auswirkung der UV auf die AV gemacht werden können. Keine Aussagen sind bezüglich der Auswirkungen von KVen und AV möglich.

Verständnis:

Hier müssen die S' uS die Fähigkeit besitzen, zu erkennen und zu erklären, dass aus konfundierten Experimenten keine Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Das Modell wird durch eine Studie von Brandenburger et al. (2022) gestützt. Ebd. wiesen die in Abb. 3.1 gezeigte Mehrdimensionalität der VKS, bezogen auf die Facetten der Identifikation und Interpretation, mittels eines durch sie entwickelten Multiple-Choice Tests nach.

Es zeigt sich demnach, dass für ein tiefgehendes Verständnis der VKS verschiedene Fähigkeiten erworben werden müssen. Ebenfalls müssen für die korrekte Umsetzung der VKS unterschiedliche Variablen gleichzeitig bezüglich ihrer Ausprägungen im Blick behalten werden. Dies fällt nicht nur S' uS schwer, sondern fehlerhafte Vorstellungen und Umsetzungsfehler finden sich auch bei Erwachsenen.

3.2 Schwierigkeiten beim Erlernen und Anwenden der VKS

Wie bereits beschrieben, handelt es sich bei der VKS um ein Konzept, zu dessen Verständnis mehrere VKS-bezogene Fähigkeiten benötigt werden. Dies kann, wenn diese Fähigkeiten nicht oder nur teilweise vorhanden sind, zu konfundierten

Experimenten führen. Inwieweit das Verständnis der VKS in verschiedenen Altersklassen ausgeprägt ist und an welchen Stellen fehlerhafte Vorstellungen vorliegen, ist Inhalt diverser Studien.

So konnte gezeigt werden, dass bereits S' uS der Grundschule unkundierte Experimente, die dem Ansatz der VKS folgen, bevorzugt auswählen (Bullock & Sodian, 2003; Haselbeck, 2019). Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass der Erwerb der VKS in der Grundschule durch Interventionsmaßnahmen unterstützt werden kann (Bohrmann, 2017; Brandenburger et al., 2022; Chen & Klahr, 1999). Trotz dieser positiven Ergebnisse sind Erwerb und Umsetzung der VKS mit Schwierigkeiten behaftet.

So führen nach Schwichow (2015, S. 86) VKS bezogene Aufgaben zu einer kognitiven Belastung. Dies kann den Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten behindern. Weitere Studien zeigen, dass trotz grundlegendem Verständnis der VKS ihre korrekte Umsetzung beim Experimentieren für S' uS problematisch ist. Diese Schwierigkeiten zeigen sich nicht nur in der Grundschule (Bullock & Sodian, 2003; Chen & Klahr, 1999), sondern bis hinein in die Sekundarstufe I (Bullock & Sodian, 2003).

Siler und Klahr (2012) unterteilen Schwierigkeiten bei der Umsetzung der VKS danach, ob S' uS eine **wissenschaftliche Vorstellung** (Tab. 3.2) oder eine **ingenieurhafte Vorstellung** (Tab. 3.3) bzgl. eines naturwissenschaftlichen Experiments zeigen. Je nachdem, welche dieser beiden Vorstellungen vorliegt, können unterschiedliche Fehler beim Experimentieren hinsichtlich der VKS auftreten. Siler und Klahr (2012) beziehen sich bei der Beschreibung der Schwierigkeiten auf schriftliche Daten, die im Zuge des TED-Projekts (*training of experimental design*) gesammelt wurden sowie auf Interviews aus demselben Projekt. Ebenfalls zogen Siler und Klahr (2012) weitere Ergebnisse vorangegangener Studien mit ein, z.B. von Kuhn et al. (1995).

Die Ergebnisse von Siler und Klahr (2012) werden im Folgenden beispielhaft vorgestellt und jeweils anhand des oben beschriebenen Experiments „Murmelbahn“ veranschaulicht.

Wissenschaftliche Vorstellung

S' uS mit einer wissenschaftlichen Vorstellung verfolgen Experimente mit dem Ziel, den Einfluss einer Variablen zu untersuchen. Unter dieser Voraussetzung beschreiben Siler und Klahr (2012) sieben Fehlertypen. In Tab. 3.2 werden einige dieser Fehlertypen vorgestellt und jeweils anhand von Beispielen veranschaulicht.

Tab. 3.2: Beispiele für Fehlertypen bei wissenschaftlichen Vorstellungen von S' uS zur VKS (Siler & Klahr, 2012)

Beispiele für wissenschaftliche Vorstellungen nach Siler und Klahr (2012)	Erläuterung am Experiment Murmelbahn Frage: „Bestimmt die Höhe der Bahn, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht?“ (UV: Höhe der Bahn).
<i>CVS for wrong variable</i>	S' uS konstruieren ein Experiment, bei dem sich die Bahnen nur in der Beschaffenheit des Bodens unterscheiden (VKS wurde beachtet - aber für die falsche UV).
<i>Test multiple variables</i>	S' uS konstruieren ein Experiment, bei dem sich die Bahnen sowohl in der UV (Höhe) als auch in einer weiteren Variable (z. B. Beschaffenheit des Bodens) unterscheiden (konfundiertes Experiment).
<i>Ignore confound(s)</i>	S' uS konstruieren ein stark konfundiertes Experiment (unterschiedliche Höhen, Murmeln, Böden). Sie ziehen aus diesem Experiment aber nur Schlüsse bzgl. der Höhe (konfundiertes Experiment - aber trotzdem werden Schlussfolgerungen zu der eigentlichen UV gezogen).
<i>Noncontrastive target variable(s)</i>	S' uS konstruieren ein Experiment ohne Variablenvariation, weder die UV noch die KVen werden verändert. Beide Murmelbahnen sind gleich gestaltet.

Ingenieurhafte Vorstellung

Bei den ingenieurhaften Vorstellungen versuchen die S' uS, in Experimenten gezielt besondere Effekte hervorzurufen. Hier identifizieren Siler und Klahr (2012), je nach Ziel der S' uS, drei unterschiedliche Fehlertypen (maximize outcome; different outcome; same outcome). Bei einigen dieser Fehlertypen werden noch Untertypen unterschieden. Dabei nehmen ebd. Bezug auf eine vorangegangene Studie von Schauble, Klopfer und Raghavan (1991).

In Tab. 3.3 werden die drei Fehlertypen mit jeweils einem Beispiel vorgestellt. Bei den Fehlertypen mit Untertypen bezieht sich das Beispiel auf einen der Untertypen.

Tab. 3.3: Beispiele für Fehlertypen bei ingenieurhafte Vorstellungen von S' uS zur VKS (Siler & Klahr, 2012)

Beispiele für ingenieurhafte Vorstellungen nach Siler und Klahr (2012)	Erläuterung am Experiment Murmelbahn Frage: „Bestimmt die Höhe der Bahn, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn er- reicht?“ (UV: Höhe der Bahn).
<i>maximize outcome:</i> Unter diesem Fehlertyp werden drei ähnliche Vorgehensweisen zusammengefasst, die alle darauf abzielen, durch die Ausprägung der Variablen eines Experiments die Effekte möglichst zu maximieren. In dem Beispiel Murmelbahn würde dies bedeuten, dass die Murmel auf beiden Bahnen möglichst schnell das Ende der Bahn erreicht.	<u>Interaction:</u> Unterschiedliche Kombinationen von Variablen, die aufgrund des Vorwissens der S' uS als besonders „gut“ geeignet erscheinen, werden für den Vergleich verwendet. Z.B. wird eine Murmelbahn 1 auf maximaler Höhe mit glattem Boden und einer kleinen Murmel mit einer Bahn 2 auf maximaler Höhe, mit welligen Boden und großer Murmel verglichen. Für Bahn 1 könnte die Vermutung sein, dass eine kleine Murmel besonders gut auf der glatten Oberfläche rollt. Für Bahn 2 könnte die Vermutung sein, dass große Murmeln über die Wellen hinwegrollen.
<i>different outcomes:</i> Hier versuchen die S' uS, möglichst unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Bedingungen zu erhalten. Dazu werden zwei Bedingungen als genaues Gegenteil voneinander konzipiert.	In dem Beispielexperiment könnte eine Murmelbahn auf der maximalen Höhe mit dem glatten Boden und der großen Murmel - die andere Murmelbahn auf der niedrigsten Höhe, mit dem welligen Boden und der kleinen Murmel aufgebaut werden.
<i>same outcome:</i> Hier versuchen die S' uS Experimente zu konzipieren, in denen der Vergleich möglichst gleiche Ergebnisse liefert. In diesem Fall also, dass die Murmeln gleichzeitig das Ende der Bahn erreichen.	<u>Balance:</u> Hier wird versucht, die Ergebnisse von zwei unterschiedlichen Aufbauten dadurch anzugleichen, dass immer, aus Sicht der S' uS, „gute“ und „schlechte“ Variablen miteinander kombiniert werden. In dem hier verwendeten Beispiel könnte eine Murmelbahn mit glattem Boden und niedriger Höhe mit einer anderen mit welligem Boden und großer Höhe verglichen werden.

Die dargestellten Ergebnisse von Siler und Klahr (2012) liefern Anhaltspunkte für die Erstellung von Lern- bzw. Interventionsmaterialien, die die S' uS bei dem Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten unterstützen sollen.

Ebenfalls liefern ebd. Hinweise darauf, welche Ergebnisse bei der Auswertung solcher Materialien erwartet werden können. So sollte immer mitbedacht werden, dass bei auf den ersten Blick gleich aufgebauten fehlerhaften Experimenten, verschiedene Fehlvorstellungen der S' uS zugrunde liegen können. Welche Fehlvorstellung vorliegt, kann beispielsweise durch Interviews oder Erläuterungen der Lernenden aufgeklärt werden.

Des Weiteren lassen die Ergebnisse von Siler und Klahr (2012) darauf schließen, dass beim Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten Schwierigkeiten auftreten, was dazu führen könnte, dass S' uS die VKS nicht richtig anwenden. Dies legt nahe, die Förderung VKS bezogener Fähigkeiten näher in den Blick zu nehmen.

3.3 Förderung von VKS-bezogenen Fähigkeiten

Die Förderung VKS bezogener Fähigkeiten ist Inhalt diverser Studien. Hierbei wurden von unterschiedlichen Autoren und Autorinnen verschiedene Herangehensweisen untersucht.

Einen Überblick über die Studienlage bietet die Metaanalyse von Schwichow, Croker, Zimmerman, Höffler und Härtig (2016). In diese flossen 72 Studien der Jahre 1972 bis 2012 ein. Aus dieser Metaanalyse konnten wichtige Ansätze zur Vermittlung der VKS abgeleitet werden.

Als besonders hilfreich für das Erlernen der VKS beschreiben Schwichow und Croker et al. (2016) das Demonstrieren von „guten Experimenten“, also das Vorführen von Experimenten, die einem variablenkontrollierten Ansatz folgen.

Ebenfalls konnte aufgrund der Ergebnisse der Metaanalyse aufgezeigt werden, dass das Erlernen der VKS durch das Aufwerfen eines kognitiven Konflikts begünstigt wird, also dem Aufzeigen einer Situation, die den Alltagserfahrungen widerspricht.

Z.B. könnte auf Frage hin: „Kommt eine Murmel auf einer steilen oder einer weniger steilen Bahn zuerst am Ende der Bahn an?“, die steilere Bahn mit Querstreben versehen werden, über die die Murmel nicht rollen kann. Durch dieses Vorgehen wird veranschaulicht, welche Auswirkungen das Nichteinhalten der VKS haben kann, ohne diese im Vorhinein zu thematisieren. Dadurch können Diskussionsgrundlagen zur Verbesserung des Experiments geschaffen werden.

Des Weiteren gingen Schwichow und Croker et al. (2016) der Frage nach, ob die VKS explizit oder implizit vermittelt werden sollte. Ebd. konnten in der Metastudie keine der beiden Herangehensweisen einen Vorteil gegenüber der anderen zusprechen.

Dieser Befund konnte durch Kalthoff (2019) in Bezug auf die Erwachsenenbildung untermauert werden.

In dieser Arbeit soll die Vermittlung von VKS-bezogenen Fähigkeiten in der Grundschule untersucht werden. Bezogen auf jüngere S' uS wird von Schwichow und Croker et al. (2016) darauf verwiesen, dass in dieser Altersgruppe die VKS explizit vermittelt werden sollte. Damit stützen sie die Aussagen von Chen und Klahr (1999), die ebenfalls auf einen Vorteil der expliziten Vermittlung für jüngere Lernende verweisen.

Bezogen auf jüngere S' uS der Grundschule zeigt sich, dass Studien zwar häufig untersuchen, ob die S' uS die VKS anwenden (Bullock & Sodian, 2003; Haselbeck, 2019), es finden sich aber neben der Studie von Chen und Klahr (1999) nur wenige Interventionsstudien, die die Vermittlung von VKS-bezogenen Fähigkeiten unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Lernervoraussetzungen in den Fokus nehmen. Ein Beispiel für eine solche Interventionsstudie bietet die Dissertation von Bohrmann (2017). Eine weiteren Beitrag zur Förderung der VKS in der Grundschule liefert Brandenburger et al. (2022).

Bohrmann (2017) untersuchte mit dem „*Modeling*“ einen lehrerzentrierten Ansatz für die Gestaltung von Unterricht zur Vermittlung von VKS-bezogenen Fähigkeiten.

Beim Modeling handelt es sich um eine Maßnahme, die dem *scaffolding* zuzuordnen ist (Pea, 2004). Beim Modeling wird den S' uS durch die Lehrperson das Vorgehen zur Lösung eines Problems anhand eines fortgeschrittenen Lösungsansatzes erläutert (vgl. Bohrmann, 2017, S. 42).

In ihrer Studie verglich ebd. mittels eines schriftlichen VKS-Tests (verschiedene Öffnungsgrade) im Prä-Post-Follow-up Design Gruppen von Drittklässlern, die Unterricht zur VKS mit Modeling erhielten, mit solchen, die die VKS durch freies Experimentieren erlernten.

Der Test umfasste insgesamt 24 Items. Von diesen bezogen sich 17 Items auf die VKS Anwendung und die übrige sieben Items auf inkonklusive und konklusiven Tests (Bohrmann, 2017, S. 114).

In der Interventionsgruppe mit Modeling erhielten die S' uS zunächst die Möglichkeit, Experimente mithilfe von Versuchskarten durchzuführen. Durch diese wurde ein der VKS entsprechendes Vorgehen vorgegeben, ohne dass den S' uS

die VKS bekannt war. Dieses diente demzufolge der impliziten Vermittlung. Anschließend wurde die VKS explizit im Gruppengespräch durch die Lehrkraft thematisiert. Daran anschließend sollten die S' uS eigenständig Experimente entwickeln und diese präsentieren. Abschließend fand eine Reflexionsstunde statt.

Die andere Interventionsgruppe erhielt Unterricht, in dem die VKS in Form von offenem Experimentieren erlernt werden sollte. Der Unterricht orientierte sich dabei in seiner Gestaltung weitgehend an den sechs Phasen nach Hötteke (2001). Auch hier standen am Ende der Reihe das selbstständige Erstellen von Experimenten durch die S' uS und eine Reflexionsstunde.

Zusätzlich zu dem VKS-Test wurden weitere Variablen wie Lesefähigkeit oder Problemlösefähigkeit erhoben und Interviews zu den erstellten Experimenten mit den S' uS durchgeführt.

Bohrmann (2017) konnte zeigen, dass sowohl das Arbeiten mit Modeling als auch das offene Experimentieren sich positiv auf das Verständnis der VKS auswirken.

Brandenburger et al. (2022) setzen zur Förderung der VKS in der Grundschule zwei Lerneinheiten ein. In der ersten Lerneinheit bearbeiteten die Lernenden Schülerexperimente. Ziel dieser ersten Lerneinheit war es, die Vorstellung von fairen Experimenten, die bei Grundschülern bereits vorhanden ist, auf das Konzept eines kontrollierten Experiments zu übertragen (ebd.). In einer anschließenden weiteren Lerneinheit wurden den S' uS, aufbauend auf den Forschungsergebnissen von Schwichow und Christoph et al. (2016), Demonstrationsexperimente präsentiert, die einen kognitiven Konflikt auslösen sollten. Der Einsatz eines von Brandenburger et al. (2022) entwickelten Testinstruments im Prä-Post-Follow-up Design zeigte einen Zuwachs der VKS-bezogenen Fähigkeiten vom Prä- zum Posttest, der sich auch im Follow-up Test als stabil erwies. Die gefundenen Ergebnisse wurden mittels einer Baselinegruppe gegenüber einem Testwiederholungseffekt abgesichert. Als Ergebnis halten Brandenburger et al. (2022) u.a. fest, dass durch Förderung S' uS der dritten Klasse das Niveau von Viertklässlern bezogen auf die VKS erlangen können.

3.4 Schlussfolgerungen für die Grundschule

Die VKS ist, wie bereits beschrieben (vgl. Kap. 3.2), eine Methode, bei deren Erwerb vielfältige Schwierigkeiten auftreten (Siler & Klahr, 2012). Um diesen verschiedenen Schwierigkeiten im Unterricht zu begegnen, sollten S' uS möglichst individuell unterstützt werden. Dies erfordert einen differenzierten Unterricht. Um Lehrkräfte die Gestaltung eines solchen Unterrichts zu ermöglichen, ohne die verschiedenen Lerntempi bzw. die individuell auftretenden Schwierigkeiten aus dem

Blick zu verlieren, bietet sich der Einsatz von Unterstützungsangeboten an. Aufbauend auf den Ergebnissen von Schwichow und Croker et al. (2016) sollte bei der Arbeit mit diesen Unterstützungsangeboten die VKS explizit vermittelt werden. Im Sinne der inneren Differenzierung sollten hier verschiedene Unterstützungsangebote zur Verfügung gestellt werden, um unterschiedlichen Lernervoraussetzungen gerecht zu werden. Für die vorliegende Studie wurden solche Unterstützungsangebote in Form von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen erstellt.

4 Unterstützungsangebote

Schaut man in den schulischen Alltag, werden S' uS in allen Phasen des Physikunterrichts mit Problemlöseaufgaben konfrontiert (Kauertz, Löffler & Fischer, 2015, S. 458). Zur Lösung gehören meist auch das Planen, Durchführen oder Auswerten eines Experiments. Um dabei erfolgreich zu sein, benötigen die S' uS u.a. VKS-bezogene Fähigkeiten (Kap. 3). Wie bereits dargestellt, bereitet das Erlernen und Anwenden der VKS, bis hinein in die Erwachsenenbildung, Schwierigkeiten. Daher liegt es nahe, die Vermittlung der VKS durch Unterrichtsmethoden zu fördern. Möglichkeiten hierfür sind bspw. lehrerzentrierte Ansätze (Bohrmann, 2017), Methoden wie das Herbeiführen eines kognitiven Konflikts (Brandenburger et al., 2022; Schwichow, Croker et al., 2016) oder das Demonstrieren von Experimenten, die der VKS folgen (ebd.). Ebenfalls wird beschrieben, dass die Bearbeitung von VKS Aufgaben kognitiv belastend ist (Schwichow et al., 2015, 103) und somit der Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten behindert werden kann. Es bieten sich demnach für eine Förderung Ansätze an, die entlastend wirken.

Eine Möglichkeit, die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten zu entlasten, bietet der Einsatz von materialbasierten Unterstützungsangeboten (Baumann, 2014; Hänze, Schmidt-Weigand & Blum, 2007; Koenen, 2014; Stiller & Wilde, 2021), bei denen die S' uS weitgehend eigenständig mit den zur Verfügung gestellten Materialien lernen. Dabei tritt der Lehrer in den Hintergrund. Unter Berücksichtigung der in der Grundschule besonders heterogenen Lerngruppen (Kluczniok et al., 2011, S. 180) sollten, im Sinne der inneren Differenzierung, hierbei für Lernende mit unterschiedlichen Voraussetzungen (Lernervoraussetzungen) auch unterschiedliche Unterstützungsangebote bereitgestellt werden. Es stellen sich demnach die Fragen, welche Unterstützungsangebote zur Vermittlung der VKS sich sinnvoll begründen lassen und inwieweit für S' uS mit unterschiedlichen Lernervoraussetzungen eingesetzte Materialien auch unterschiedliche Lernzuwächse bewirken. Beiden Fragen wird in den folgenden Kapiteln nachgegangen.

4.1 Wahl der Unterstützungsangebote

Schwichow (2015, S. 103) beschreibt die Bearbeitung von VKS bezogenen Aufgaben als kognitiv belastend. Daher sollten, bei der selbstständigen Bearbeitung solcher Aufgaben, den S' uS Unterstützungsangebote an die Hand gegeben werden, die möglichst kognitiv entlastend wirken. Hier bietet sich der Einsatz von Lösungsbeispielen oder gestuften Lernhilfen an, da beiden Angeboten eine kognitive

Entlastung zugesprochen wird (Franke-Braun, 2008; Koenen, 2014). Bei beiden werden Lernende durch Hinweise oder Vorgaben bei der Lösung einer Aufgabe unterstützt und können sogar die vollständige Lösung einsehen.

Unterschiede liegen in der Art und Weise, wie diese Unterstützung den Lernenden zur Verfügung gestellt wird. So ist die Struktur von gestuften Lerhilfen weit weniger starr als die Struktur von Lösungsbeispielen und lässt so mehr Raum für eigenständige Lösungen. Sowohl das Lernen mit Lösungsbeispielen (Baumann, 2014; Burmeister, 2014; Koenen, 2014) als auch das Lernen mit gestuften Lernhilfen (Franke-Braun, 2008; Hänze & Stäudel, 2006; Hänze et al., 2007) erwies sich in bisherigen Studien als probate Möglichkeit, naturwissenschaftliche Kontexte zu vermitteln. Aus diesem Grund sollen in der vorliegenden Studie diese beiden Unterstützungsangebote zur Vermittlung der VKS in der Grundschule eingesetzt werden. Ob und inwieweit die bisherigen Ergebnisse auch auf den Bereich der Primarstufe übertragbar sind, ist fraglich.

Um diese Lücke zu schließen, widmet sich die vorliegende Arbeit der Untersuchung des Erwerbs VKSbezogener Fähigkeiten in der Grundschule mittels des Lernens mit Lösungsbeispielen oder gestuften Lernhilfen.

Um den Begriff „kognitive Belastung“ besser zu fassen, wird im folgenden Kapitel 4.1.1 ein Überblick über die *cognitive load theory* gegeben.

4.1.1 Lernen und die *cognitive load theory*

„Unter Lernen versteht man die Modifikation von Verhalten durch Erfahrung, unter Gedächtnis die Fähigkeit [...], zu behalten, was gelernt und was erfahren wird.“ (Sadava, Hillis, Heller & Berenbaum, 2011, S. 1324). Lernen ist also dann erfolgreich, wenn die gemachten Erfahrungen auch im Gedächtnis gespeichert werden. Dieser Vorgang findet im sog. Arbeitsgedächtnis statt. Das Arbeitsgedächtnis dient dazu, Informationen aufzunehmen, zu verarbeiten und anschließend in das Langzeitgedächtnis zu überführen. Das Langzeitgedächtnis speichert also die gemachten Erfahrungen.

Das Arbeitsgedächtnis kann allerdings nur eine begrenzte Menge an Informationen gleichzeitig verarbeiten. In der Literatur wird von 5 ± 2 Einheiten, sogenannten *chunks*, gesprochen, die gleichzeitig verarbeitet werden können. Diese *chunks* können allerdings verschieden ausgeformt sein. Beispielsweise kann eine Zahl wie 42 in dem einen Kontext als ein *chunk* verarbeitet werden - aber in einem anderen als eine Folge der Zahlen 4 und 2 den Platz von zwei *chunks* beanspruchen.

Formen der kognitiven Belastung

Werden nun durch einen Lerngegenstand viele einzelne Informationen zur Verfügung gestellt, die parallel verarbeitet werden müssen, kann dies zu einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses führen. Die Folge hiervon kann sein, dass der Lernprozess gestört wird. Inwieweit verschiedene Aspekte eines Lerngegenstandes das Arbeitsgedächtnis belasten, wird in der *cognitive load theory* beschrieben.

Die *cognitive load theory* unterscheidet drei Arten der kognitiven Belastung: den *extraneous load* (extrinsische Belastung), den *intrinsic load* (intrinsische Belastung) und den *germane load*. Alle drei Arten der Belastung zusammen lasten das Arbeitsgedächtnis immer vollständig aus.

Extrinsische Belastung

Die extrinsische Belastung beschreibt, inwieweit die Gestaltung des Lernmaterials Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis nimmt. Unterschiedliche Arbeitsmaterialien zum gleichen Lerngegenstand können verschieden gestaltet sein. Z. B. könnte ein Unterschied in der Organisation der für eine Lernaufgabe wichtigen Informationen liegen. Dies kann bedeuten, dass, je nach Organisation der gegebenen Informationen, mehr oder weniger Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für die Informationsverarbeitung genutzt wird. Dies bedeutet einen Verlust an Kapazität für den eigentlichen Lernprozess.

Intrinsische Belastung

Unter intrinsischer Belastung wird diejenige Belastung verstanden, die durch die Komplexität des Lerngegenstandes hervorgerufen wird. Mit steigender Komplexität wird auch mehr Kapazität des Arbeitsgedächtnisses gebunden. Folgt man Sweller (2011), kann die intrinsische Belastung kaum durch die Materialgestaltung beeinflusst werden. Entscheidend für das Ausmaß der intrinsischen Belastung ist die Elementinteraktivität. Diese beschreibt, wie viele einzelne zu lernende Elemente, die aufgrund der Komplexität des Inhalts nicht getrennt gelernt und dargestellt werden können, gleichzeitig verarbeitet werden müssen. Je höher die Elementinteraktivität ist, desto stärker wird das Arbeitsgedächtnis beansprucht (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998).

Germane load

Bei der nach Abzug der extrinsischen und intrinsischen Belastung übrigbleibenden Kapazität des Arbeitsgedächtnisses handelt es sich um die Ressource, die zum eigentlichen Lernen genutzt werden kann. Diese übrigbleibende Kapazität wird als *germane load* bezeichnet.

Das Arbeitsgedächtnis wird also auf verschiedene Weisen belastet. Um effektives Lernen zu ermöglichen, sollten Arbeitsmaterialien eingesetzt werden, die das Arbeitsgedächtnis möglichst wenig extrinsisch und intrinsisch belasten und somit viel Raum für den *germane load* lassen. Dies ermöglicht ein effektives Lernen.

Da, wie beschrieben, der Erwerb der VKS kognitiv belastend ist, sollten solche Unterstützungsangebote gewählt werden, die kognitiv entlasten.

Diesen Anforderungen entsprechen sowohl das Arbeiten mit Lösungsbeispielen (Baumann, 2014; Burmeister, 2014; Koenen, 2014; Lindmeier, Ufer & Reiss, 2018) als auch das Arbeiten mit gestuften Lernhilfen (Franke-Braun, 2008; Hänze & Stäudel, 2006; Hänze et al., 2007). Beide Unterstützungsgebote werden im Folgenden näher vorgestellt.

4.1.2 Lösungsbeispiele

Als Lösungsbeispiele bzw. Beispielaufgaben, im Englischen *worked out examples* oder *worked-examples*, bezeichnet man Lernmaterialien, in welchen den Lernenden eine Expertenlösung eines Problems zu Lernzwecken präsentiert wird (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000). Dabei folgen Lösungsbeispiele einem festgelegten Schema. Zunächst wird eine Problemstellung aufgeworfen, daraufhin werden die nötigen Schritte zur Lösung des Problems gezeigt und abschließend wird die endgültige Lösung vorgestellt (Renkl & Schworm, 2002). Daran anschließend erhalten die Lernenden häufig Aufgaben, die sie unter Anwendung des im Lösungsbeispiel beschriebenen Lösungswegs selbstständig bearbeiten müssen (Renkl & Schworm, 2002).

Das Lernen mit Lösungsbeispielen bietet sich gerade in stark strukturierten Domänen, wie im naturwissenschaftlichen Bereich, an (Mackensen-Friedrichs, 2004, S. 28). So finden sich Lösungsbeispiele in verschiedenen Schulbüchern von mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern, z.B. am Anfang eines neuen Kapitels, wenn das Vorgehen zur Lösung eines Aufgabentyps vorgestellt wird, oder um

das Vorgehen bei der Herleitung einer Formel zu verdeutlichen (Baum, 2007; Bühler & Burzin, 2020; Krause & Grehn, 2020).

Insgesamt zeigt das Lernen mit Lösungsbeispielen in vielen Studien eine besondere Effektivität (z.B. Cooper & Sweller, 1987; Reed & Bolstad, 1991; Sweller & Cooper, 1985). Dies wird als *worked-example-effect* bezeichnet. Studien konnten ebenfalls zeigen, dass das Lernen mit Lösungsbeispielen gerade für Novizen (Lernende mit einem geringen Vorwissen) effektiv und dem reinen Bearbeiten von Problemlöseaufgaben überlegen ist (Cooper & Sweller, 1987; Kölbach, Maier-Richter & Sumfleth, 2015; Sweller & Cooper, 1985).

Lösungsbeispiele - naturwissenschaftlich-experimentelle Arbeitsweisen

Auch der Einsatz von Lösungsbeispielen in nicht algorithmischen Domänen ist Inhalt der Forschung. So untersuchte beispielsweise Koenen (2014), ob Lösungsbeispiele auch geeignet sind, Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens zu erlernen. Solche Lösungsbeispiele bezeichnet ebd. als heuristische Lösungsbeispiele. Hierzu entwickelte ebd. Lösungsbeispiele, mit deren Hilfe S' uS naturwissenschaftlich-experimentelle Arbeitsweisen erlernen sollen.

Da zu solchen Arbeitsweisen u.a. auch das Experimentieren gehört, integrierte ebd. in die Lösungsbeispiele naturwissenschaftliche Experimente.

Bei den von ebd. untersuchten Lösungsbeispielen handelt es sich um sogenannte *double-content* Lösungsbeispiele (Renkl, Hilbert & Schworm, 2009). Dabei wird neben der zentralen Lerndomäne auch eine weitere vermittelt (z.B. elektrischen Schaltkreise und Suche nach Fehlern (van Gog, Paas & van Merriënboer, 2006)). Im Gegensatz dazu wird bei *single-content* Lösungsbeispielen nur eine einzelne Lerndomäne angesprochen (z.B. Eigenschaften von Wasser (Kölbach, 2011)).

Koenen (2014, S. 34) stellte in ihrer Forschung fest, dass die Übertragung der bisherigen Ergebnisse zur Forschung an Lösungsbeispielen nicht ohne Weiteres auf die Arbeit mit heuristischen Lösungsbeispielen, mit integrierten Experimentieranteilen, möglich ist. Dies könnte u.a. dadurch verursacht worden sein, dass es bei der Bearbeitung der textbasierten Lösungsbeispiele und den dazugehörigen Experimenten zu einem *split attention effect* (s. S. 38) kam (ebd.). Um hier Aufklärung zu leisten, ist weitere Forschung auf dem Gebiet der Lösungsbeispiele mit Experimentintegration notwendig (ebd.).

Gestaltung von Lösungsbeispielen

Die Effektivität des Lernens mit Lösungsbeispielen ist auf die Reduzierung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses zurückzuführen, wodurch mehr Kapazitäten für das Verarbeiten von Informationen zur Verfügung stehen (Mackensen-Friedrichs, 2004, S. 23).

Die effektive Gestaltung von Lösungsbeispielen ist Inhalt diverser Studien. Eine gute Übersicht der Studienlage findet sich bei Atkinson et al. (2000). Sie ordnen die Ergebnisse verschiedener Studien in drei Kategorien ein:

- *intra-example features*
- *inter-example features*
- *explanation effect*

Aus dieser Einteilung ziehen ebd. Schlüsse für eine effektive Gestaltung von Lösungsbeispielen.

Intra-example features

Unter *intra-example features* fassen ebd. Ergebnisse zu dem Design von Lösungsbeispielen zusammen. Bei dem Design von Lösungsbeispielen ist besonders darauf zu achten, dem von Tarmizi und Sweller (1988) beschriebenen *split attention effect* entgegen zu wirken. Darunter wird verstanden, dass die integrierte Darstellung, beispielsweise von Diagrammen und Texten, zu einer Reduzierung der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung von Lösungsbeispielen führen kann.

Des Weiteren verweisen Atkinson et al. (2000) auf Studienergebnisse von Catrambone (z.B. Catrambone & Holyoak, 1990).

Danach kann die Effektivität von Lösungsbeispielen dadurch verbessert werden, dass Unterziele etabliert werden, also der zu vermittelbare Inhalt in kleine Einheiten unterteilt wird. Dies kann die S' uS kognitiv entlasten, indem es ihnen ermöglicht wird, ihre Konzentration auf ein abgegrenztes Problem zu fokussieren.

Inter-example features

Atkinson et al. (2000) fassen hierunter zusammen, auf welche Weise eine Sequenz von hintereinander zu bearbeitenden Lösungsbeispielen effektiv gestaltet werden kann. Zunächst halten ebd. fest, dass, für eine bessere Transferleistung bzgl. des mit Lösungsbeispielen erarbeiteten Problems, den Lernenden mindestens zwei Lösungsbeispiele präsentiert werden sollten (Reed & Bolstad, 1991). Des Weiteren

steigt die Transferleistung, wenn die behandelten Problemtypen in den Lösungsbeispielen variieren (Paas & van Merriënboer, 1994). Des Weiteren beschreiben Trafton und Reiser (1993), dass das kombinierte Bearbeiten von Lösungsbeispielen und Problemlöseaufgaben lernförderlich ist.

Werden variierende Problemtypen eingesetzt, sollten für einen Problemtyp, durch die verwendeten Beispiele, gemeinsame lösungsspezifische Aspekte herausgestellt werden (Renkl & Schworm, 2002). Dies kann durch verschiedene inhaltliche Einbettungen realisiert werden, bspw. durch variierende *coverstorys* (Quilici & Mayer, 1996).

Unter einer *coverstory* versteht man eine Art kleine Geschichte, die die S' uS durch die Aufgaben leitet. Als besonders lernwirksam gilt es, wenn die Coverstory Identifikationsmöglichkeiten für die S' uS bietet (Renkl, 2014).

Selfexplanation

Als hilfreich bei dem Lernen mit Lösungsbeispielen hat sich des Weiteren das Anfertigen von Selbsterklärungen zu den zu lernenden Inhalten erwiesen (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989; Koenen, 2014). Unterstützt werden kann dies, indem in den Lösungsbeispielen Unterziele etabliert werden (Catrambone, 1996) oder die Lernenden durch *prompting* Maßnahmen zum Anfertigen von Selbsterklärungen aufgefordert werden.

Prompts unterteilen Nokes, Hausmann, van Lehn und Gershman (2011) in zwei Klassen: *gap-filling* Prompts und *mental-model revision* Prompts.

Unter *gap-filling* Prompts verstehen ebd. zwei Unterarten. Zum einen *justification* Prompts, die darauf abzielen, dass Probanden eine Rechtfertigung für einen gezeigten Schritt formulieren (Beispielprompt: „*This choice is correct because...*“ (Nokes et al., 2011)). Zum anderen *step-focused* Prompts, deren Inhalt die Probanden dazu auffordert, den gezeigten Schritt in freierer Form zu erklären (Beispielprompt: „*Do you have any more thoughts about that step?*“ (Nokes et al., 2011)).

Demgegenüber untersuchten ebd. *mental-model revision* Prompts. Hierunter verstehen ebd. solche Prompts, die die S' uS dazu anregen, mentale Modelle zu verändern (Beispielprompt: „*What new information does each step provide for you?*“ (Nokes et al., 2011)). Nokes et al. (2011) stellten in dem Themengebiet (Elektrodynamik) ihrer Studie fest, dass die Gruppe, deren Arbeitsmaterialien *gap-filling* Prompts verwendete, einen höheren Lernzuwachs verzeichnete als die Gruppe mit *mental-model revision* Prompts. Sie geben allerdings zu bedenken, dass dies auch darauf zurückzuführen sein könnte, dass in der untersuchten Thematik „Elektrodynamik“ wahrscheinlich keine Präkonzepte vorliegen, zu deren Änderung *mental-model revision* Prompts beitragen könnten.

Werden Prompts zur Anfertigung von Selbsterklärungen verwendet, kann es allerdings zu Problemen führen, wenn die S' uS einer Verständnisillusion, also dem Irrtum, den Inhalt verstanden zu haben, unterliegen (Renkl, 2001). Dies kann nach (ebd.) dann vorliegen, wenn rationale Aspekte des Lösungsbeispiels erklärt werden sollen. Dem kann durch geeignete Rückmeldungen zu der Selbsterklärung entgegengewirkt werden (ebd.).

Ausgestaltung von Lösungsbeispielen

Andere Forschungen widmeten sich der weiteren Ausgestaltung von Lösungsbeispielen. So untersuchte Chomse (2019) die Lernwirksamkeit von Lösungsbeispielen mit unterschiedlich starker bildhafter Darstellung der Inhalte (reiner Text, Text mit eingebundener bildhafter Darstellung, reine bildhafte Darstellung) in den Bereichen biologisches Fachwissen und naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung. Ebd. konnte zeigen, dass alle Formen von Lösungsbeispielen lernwirksam sind (*worked-example-effect*). Bezogen auf den Bereich Fachwissen zeigten S' uS bei der Arbeit mit Lösungsbeispielen in der reinen Bildform und in der Form Text-Bild einen größeren Lernzuwachs als bei der Arbeit mit rein textbasierten Lösungsbeispielen. In dem Bereich naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung konnten keine Unterschiede bzgl. der Lernwirksamkeit aufgedeckt werden. Ebenfalls untersuchte ebd. den Zusammenhang zwischen Format, Lernerfolg und Vorwissen. Für S' uS mit geringem Vorwissen im Bereich biologisches Fachwissen stellte sich kein Lösungsbeispielformat als überlegen heraus.

Für S' uS mit großem Vorwissen führte das Lernen mit Bild oder Bild-Text basierten Lösungsbeispielen zu größeren Lernerfolgen. Diesen Effekt erklärte ebd. durch lernhinderliche redundante Informationen in den textbasierten Lösungsbeispielen und verweist hier auf den *expertise-reversal-effect*.

Der *expertise-reversal-effect* beschreibt, dass für Experten die Arbeit mit Lösungsbeispielen in dem zu vermittelnden Thema sogar hinderlich sein kann (Kalyuga, 2009). Dies kann darin begründet sein, dass die Lernenden gezwungen werden, bereits Gelerntes nochmals Schritt für Schritt in einer für sie vielleicht ungewohnten Weise durcharbeiten.

Schlussfolgerungen für diese Arbeit

In der hier vorliegenden Arbeit sollen VKS-bezogene Fähigkeiten u.a. durch Aufgaben in Form von Lösungsbeispielen vermittelt werden. Zur Optimierung dieser Lösungsbeispiele müssen die oben beschriebenen Aspekte zur Gestaltung beachtet werden. In Anlehnung an Koenen (2014, S. 35–36) handelt es sich bei solchen Lösungsbeispielen um *double-content* Lösungsbeispiele, da die reine Vermittlung

der VKS ohne einen Kontext, in dem diese vermittelt werden, als sehr schwierig erscheint. Um den Fokus dennoch auf die Förderung von VKS-bezogenen Fähigkeiten beizubehalten, wurden alltagsnahe und möglichst triviale Kontexte gewählt (Kap. 7). Da diese Studie auch hands-on Anteile beinhalten soll, ist darauf zu achten, die durchzuführenden Experimente möglichst gut in die Lösungsbeispiele zu integrieren, um einem *split-attention effect* entgegenzuwirken. Außerdem sollte, um die Effektivität der Lösungsbeispiele zu erhöhen, Prompts eingearbeitet werden. Da im Vorhinein nicht abzusehen ist, welche mentalen Präkonzepte genau vorliegen, erscheint hier die Verwendung von *gap-filling* Prompts zielführend.

Des Weiteren sind für die Beherrschung der VKS verschiedene Teilfähigkeiten vonnöten. Um den Forschungsergebnissen von Catrambone und Holyoak (1990) gerecht werden, wurden in den eingesetzten Materialien diese Teilfähigkeiten als Unterziele in voneinander getrennten Abschnitten (hier Sinnabschnitten) der Materialien den S' uS vermittelt.

4.1.3 Gestufte Lernhilfen

Bei der Bearbeitung von Aufgaben können S' uS auch durch die Bereitstellung von Lernhilfen unterstützt werden. Solche Lernhilfen können vielfältig im Inhalt sein. Sie können Lösungen zur Selbstkontrolle, Handlungsanweisungen, Tipps zur Aufgabenlösung oder Ähnliches beinhalten. Dabei kann die Gestaltung solcher Hilfen auch vielfältige Formen annehmen, z.B. Tippkarten auf dem Pult, umklappbare Aufgabenergänzungen auf einem Arbeitsblatt, mittels Smartphone aufrufbare Hilfestellungen oder Hörbeispiele.

Bei gestuften Lernhilfen werden diese Angebote weitergedacht. Das Aufgabenformat der gestuften Lernhilfen geht auf Leisen (1999) zurück. Dabei werden den Lernenden Lernhilfen bereitgestellt, die zu Überlegungen bzw. Handlungen anregen sollen. Diese Lernhilfen werden als gestuft bezeichnet, da sie nicht unabhängig voneinander benutzt werden können, sondern aufeinander aufbauen. Hilft den Lernenden die erste Lernhilfe nicht weiter, finden sich auf der nächsten Lernhilfe weitere Hinweise und Anregungen zur Lösung der Aufgabe. Das Besondere ist, dass sich der Inhalt dieser nächsten Lernhilfe auf die Informationen der vorherigen bezieht. Die letzte verfügbare Lernhilfe für eine Aufgabe kann eine Musterlösung beinhalten, die auch zur Kontrolle der Aufgabe genutzt werden kann. So unterstützen gestufte Lernhilfen Lernende dabei, eine gegebene Problemstellung selbstständig zu bearbeiten (Franke-Braun, Schmidt-Weigand, Stäudel & Wodzinski, 2008). Die Lernenden entscheiden selbst, in welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt sie die Hilfen in Anspruch nehmen. Eine solche Wahlmöglichkeit führt nach der

Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) zu einem Mehr an Autonomieerleben beim Bearbeiten einer Aufgabe. Das Erleben von Autonomie bewirkt eine höhere intrinsische Motivation. Dies wird durch Forschungsergebnisse, bspw. von Schmidt-Borcherding et al. (2013), bezogen auf den Einsatz von gestuften Lernhilfen untermauert.

Gestaltung von gestuften Lernhilfen

Im Bereich des naturwissenschaftlichen Unterrichts wurde das Arbeiten mit gestuften Lernhilfen u.a. von Franke-Braun et al. (2008) in den Blick genommen. Ebd. untersuchte die durch gestufte Lernhilfen unterstützte Bearbeitung von Problemlöseaufgaben in realitätsnahen Kontexten. Dabei legte ebd. ein besonderes Augenmerk auf den Lernerfolg und die Kommunikation der S' uS untereinander. Die von ebd. eingesetzten gestuften Lernhilfen bestanden jeweils aus einer Handlungsaufforderung und einer der Handlungsaufforderung entsprechenden Lösung.

Für ihre Studien legte Franke-Braun et al. (2008) folgende Merkmale für die Entwicklung der Lernhilfen zugrunde, wobei möglich ist, dass eine Lernhilfe mehrere dieser Merkmale aufgreift. Bei der folgenden Auflistung finden sich in den Klammern entsprechende Beispiele aus einem Beitrag von Franke-Braun et al. (2008).

Gestufte Lernhilfen können:

- Inhalte paraphrasieren („Erklärt euch gegenseitig die Aufgabe noch mal in euren eigenen Worten.“)
- auf bestimmte Inhalte fokussieren („Warum schwimmt eine Eisscholle überhaupt?“).
- Unterziele elaborieren („Beschreibt euch gegenseitig eure Vorstellung von dem Zustand, wenn eine Eisscholle mit Belastung gerade noch schwimmt!“).
- Vorwissen aktivieren („Wie bestimmt man die Dichte?“)
- Inhalte visualisieren („Zeichnet eine Skizze, welche die Vorgänge an der Fruchtwand der Kirsche verdeutlicht.“).
- Problemstellungen verifizieren („Wie könnt ihr mit Hilfe dieser Informationen feststellen, ob die 5-Cent-Münze aus reinem Kupfer besteht oder nicht?“).

(Vgl. Franke-Braun et al., 2008, S. 28–29)

Als Ergebnis ihrer Studien lässt sich festhalten, dass das Arbeiten mit gestuften Lernhilfen zu Lernerfolgen hinsichtlich des Lösungsverständnisses und des nahen Transfers führt und zwar unabhängig davon, ob in Einzel- oder Partnerarbeit gearbeitet wurde. Ebenfalls zeigte sich, dass das Arbeiten mit gestuften Lernhilfen zu einer sachbezogenen Kommunikation anregt. Als besonders förderlich stellte es sich heraus, wenn die S' uS Notizen zu den von ihnen bearbeiteten Aufgaben anfertigten.

Stiller und Wilde (2021) untersuchten den Einsatz von gestuften Lernhilfen zur Unterstützung von Experimentieraufgaben in biologischen Kontexten. Ein besonderes Augenmerk legten sie dabei auf den Einfluss des konzeptuellen und prozeduralen Vorwissens der S' uS auf deren Lernerfolg. In den Experimentieraufgaben sollten die S' uS den Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nachvollziehen. Bei der Bearbeitung der einzelnen Teilprozesse (Formulierung einer Fragestellung, Hypothesenbildung, Planung und Durchführung, Schlussfolgerung) konnten die S' uS auf gestufte Lernhilfen zurückgreifen. Weitere Lernhilfen sollten die S' uS bei der Generierung von prozeduralem Wissen unterstützen. In ihrer Strukturierung ähnelten die Lernhilfen den bereits vorgestellten von Franke-Braun et al. (2008, S. 28–29).

Die Studie lieferte für die Vermittlung von konzeptuellem und prozeduralem Wissen unterschiedliche Ergebnisse. Bezogen auf das konzeptuelle Wissen der S' uS zeigten die Analysen von Stiller und Wilde (2021), dass die gestuften Lernhilfen keinen Einfluss auf das konzeptuelle Wissen“ (Stiller & Wilde, 2021, S. 756) der S' uS nahmen. Vielmehr stellte nur „das konzeptuelle Vorwissen einen Prädiktor für das konzeptuelle Wissen im Nachtest“ (Stiller & Wilde, 2021, S. 756) dar.

Als Erklärung führen ebd. die Gestaltung der gestuften Lernhilfen an, die vor allem auf die Vermittlung von prozeduralem Wissen ausgelegt waren.

Bezüglich des prozeduralen Wissens konnte durch die Studie aufgezeigt werden, dass gestufte Lernhilfen dazu geeignet sind, prozedurales Wissen zu fördern.

Stiller und Wilde (2021) fanden allerdings keinen Zusammenhang zwischen prozeduralem Vorwissen und Wirksamkeit von gestuften Lernhilfen, womit sie eine besondere Wirksamkeit für das Lernen von Novizen in ihrer Studie nicht bestätigen konnten.

Schlussfolgerungen für diese Arbeit

In der hier vorliegenden Arbeit sollen VKS-bezogene Fähigkeiten u.a. durch Aufgaben mit gestuften Lernhilfen vermittelt werden. So bietet sich die Möglichkeit zu überprüfen, ob bisherige Befunde zur Wirksamkeit von gestuften Lernhilfen in der Mittelstufe (Franke-Braun, 2008) und Oberstufe (Arnold, Kremer & Mayer, 2017) sich auch in der Grundschule wiederfinden. Zur Optimierung dieser gestuften Lernhilfen liefern die oben beschriebenen Aspekte zur Gestaltung nach Franke-Braun et al. (2008, S. 28–29) wichtige Orientierungspunkte. Da in der geplanten Studie nicht zwischen prozeduralen und konzeptuellem Wissen unterschieden werden soll, empfiehlt es sich, das Vorwissen als möglichen Prädiktor für Effekte im Nachtest mit zu erheben (Stiller & Wilde, 2021).

4.1.4 Vergleich von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen

Die Gestaltung von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen ist grundsätzlich ähnlich. So wird in der Literatur auch das Aufgabenformat der gestuften Lernhilfen als Weiterentwicklung des Formats der Lösungsbeispiele gesehen (Arnold et al., 2017; Kasseler Forschergruppe, 2007). Des Weiteren werden beide Formate zur Unterstützung bei der Bearbeitung von Problemlöseaufgaben eingesetzt (s.o.).

Dies legt einen Vergleich von gestuften Lernhilfen, Lösungsbeispielen und klassischen Problemlöseaufgaben nahe. Einen solchen Vergleich zogen Schmidt-Borcherding et al. (2013). In der Studie „Inquiring scaffolds in laboratory tasks: an instance of a worked laboratory guide effect?“ wurden physikalische Experimentieraufgaben zum Thema „Hookesches Gesetz“ in Form von klassischen Problemlöseaufgaben, Lösungsbeispielen (dort *laboratory guide*) oder gestuften Lernhilfen den Lernenden präsentiert und bezüglich der jeweiligen Lernförderlichkeit und motivationaler Aspekte verglichen.

Um die Informationen in den eingesetzten gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen möglichst gleich zu halten, wurden zunächst die Lösungsbeispiele entwickelt und daraus hervorgehend die gestuften Lernhilfen. Wie die gestuften Lernhilfen genutzt wurden, war dabei den S‘ uS überlassen.

Es wurde erwartet, dass das Lernen mit gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen lernförderlicher ist als das Lernen mit reinen Problemlöseaufgaben (*worked-example-effect*). Hinsichtlich der motivationalen Aspekte wurde vermutet, dass das Lernen mit gestuften Lernhilfen aufgrund der größeren Offenheit und den sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur Selbstregulation bessere Ergebnisse erzielt als das Lernen mit Lösungsbeispielen.

Als ein Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die S' uS, die mit Lösungsbeispielen oder mit gestuften Lernhilfen arbeiteten, einen höheren Lernzuwachs erzielten als diejenigen, die mit den Problemlöseaufgaben lernten. Allerdings zeigte sich bzgl. des Lernzuwachses kein signifikanter Unterschied zwischen den Materialgruppen, die mit gestuften Lernhilfen bzw. mit Lösungsbeispielen lernten. Folgt man Schmidt-Borcherding et al. (2013), zeigen diese Ergebnisse, dass der in der Literatur häufig beschriebene „*worked-example-effect*“ (Kap. 4.1.2) auch bei der Arbeit mit Experimentieraufgaben gefunden werden kann.

Bezüglich der motivationalen Aspekte zeigte sich erwartungskonform, dass das Arbeiten mit Lösungsbeispielen weniger motivierend ist als die Arbeit mit gestuften Lernhilfen oder Problemlöseaufgaben. Dies führen Schmidt-Borcherding et al. (2013) darauf zurück, dass durch gestufte Lernhilfen das Problemlösen weiterhin im Vordergrund steht, was bei Lösungsbeispielen nicht der Fall ist.

Schlussfolgerung für diese Arbeit

In der vorliegenden Studie sollen gestufte Lernhilfen und Lösungsbeispiele im Bereich des Sachunterrichts der Primarstufe kontrastierend untersucht werden.

Um zu untersuchen, inwieweit sich das unterschiedliche Vorgehen beim Arbeiten mit gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen auf den Lernerfolg auswirkt, sollte die Grundstruktur beider Angebote möglichst gleich gehalten werden. Daher bietet sich es an, in Anlehnung an Schmidt-Borcherding et al. (2013), die gestuften Lernhilfen aus den Lösungsbeispielen heraus zu entwickeln. Dabei sollten auch alle gestalterischen Aspekte der Lösungsbeispiele in die gestuften Lernhilfen übernommen werden. Diese parallele Gestaltung bedingt aber auch, dass die von (Franke-Braun et al., 2008, S. 28–29) genannten Aspekte zur Gestaltung von Lernhilfen bei der Entwicklung von Lösungsbeispielen mit bedacht werden sollten.

4.2 Lernervoraussetzungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die beiden Aufgabenformate „gestufte Lernhilfen“ und „Lösungsbeispiele“ vorgestellt. Obwohl beide Angebote sich in ihrem Aufbau ähneln (Kasseler Forschergruppe, 2007; Schmidt-Borcherding et al., 2013), stellen sie unterschiedliche Anforderungen an die Lernenden, so z.B. bzgl.:

- motivationaler Aspekte (Schmidt-Borcherding et al., 2013),
- des Umfangs des zu lesenden Materials und
- der Freiheit in der Wählbarkeit der Hilfen.

Dies kann dazu führen, dass die Lernförderlichkeit der Angebote auf der Ebene der S' uS variiert. So ist bereits gezeigt worden (Kap. 4.1.2), dass von dem Arbeiten mit Lösungsbeispielen Novizen besonders profitieren. Hier sind weitere Lernervoraussetzungen denkbar, die, je nach Ausprägung, die Lernwirksamkeit der Unterstützungsangebote beeinflussen. Dazu ist es notwendig, solche Lernervoraussetzungen zu identifizieren, die die effektive Nutzung des Materials beeinflussen könnten. Die Auswahl der in diese Studie aufgenommenen Lernervoraussetzungen wird nachfolgend erläutert.

Selbstregulationskompetenz

Nach Hänze, Schmidt-Weigand und Stäudel (2010) ermöglicht die Arbeit mit gestuften Lernhilfen selbstreguliertes Lernen. Selbstreguliertes Lernen findet dann statt, wenn die S' uS sich selbst Ziele setzen und selbstständig Strategien anwenden, um diese Ziele zu erreichen (Götz & Nett, S. 146).

Ziegler, Stöger und Grassinger (2010) unterscheiden bzgl. des selbstregulierten Lernens drei Lernertypen:

- External regulierte Lernende, müssen von außen bei ihrem Lernen unterstützt werden.
- Unreflektiert-impulsive Lernende, benötigen Unterstützung beim Lernen, zeigen aber durchaus Phasen des motivierten Lernens.
- Selbstregulierte Lernende wissen um die eigenen Stärken und Schwächen und sind in der Lage, selbst Entscheidungen bzgl. ihres Lernens zu treffen.

Gestufte Lernhilfen unterstützen die S' uS beim selbstregulierten Lernen, da sie die freie Wahl haben, wann und in welchem Umfang sie die angebotenen Hilfen nutzen. Hierdurch soll u.a. ein zu frühes Abbrechen des Lernprozesses verhindert werden.

Zum selbstregulierten Lernen gehört es, den eigenen Lernprozess zu reflektieren (Schütte, Wirth & Leutner, 2010, S. 251). So werden Hilfen dann effektiv genutzt, wenn die S' uS aus sich selbst heraus erkennen, dass und wann sie Hilfe benötigen. Inwieweit diese Kompetenz zur Selbstregulation bei den S' uS ausgeprägt ist, kann demzufolge die Lernwirksamkeit von gestuften Lernhilfen beeinflussen.

Auch beim Umgang mit Lösungsbeispielen benötigen S' uS Kompetenzen im Bereich der Selbstregulation, da sie hier schnell Gefahr laufen, einer Verständnisillusion zu unterliegen. Sie müssen also abschätzen können, ob sie das gerade Gelesene wirklich verstanden haben oder ggf. nochmals durcharbeiten müssen. Dieses Problem kann durch die Verwendung von Prompts minimiert werden (vgl. Kap. 4.1.2) und steht im Vergleich zu der Arbeit mit gestuften Lernhilfen weiter im Hintergrund.

Somit kann angenommen werden, dass sich das Arbeiten mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen bzgl. der von den S' uS geforderten Kompetenz der Selbstregulation unterscheidet, weshalb die Selbstregulationskompetenz als zu erhebende Lernervoraussetzungen in die Studie aufgenommen wurde.

Lesefähigkeit

Die Fähigkeit, Textinhalte zu erfassen, angemessen zu nutzen und in Verbindung zu bringen, wird als „Lesekompetenz“ beschrieben (Artelt et al., 2001, S. 11). In bisherigen Arbeiten konnte festgestellt werden, dass gerade eine wenig ausgeprägte Lesekompetenz bzw. Textverständnis das Bearbeiten schriftlicher Aufgaben beeinflussen kann (vgl. Mayer, 2012, S. 175).

Bei der Arbeit mit Lösungsbeispielen wird den S' uS ein vergleichsweise langer Text zur Verfügung gestellt, aus dem alle Informationen zur Lösung der Aufgabe entnommen werden sollen. Aufgrund der Gestaltung von Lösungsbeispielen existiert keine Differenzierung dahingehend, ob jede Schülerin und jeder Schüler, jede Information benötigt. Alle müssen alles lesen. Bei der Arbeit mit gestuften Lernhilfen müssen die S' uS nur einen recht kurzen Einführungstext lesen sowie die Texte der Hilfekarten, die sie freiwillig auswählen.

Vergleicht man beide Angebote ist daher anzunehmen, dass der jeweilige Lernerfolg durch die Lesekompetenz der S' uS beeinflusst werden kann, da zum Verarbeiten des Lösungsbeispieltextes eine höhere Lesekompetenz erforderlich ist als bei der Bearbeitung der gestuften Lernhilfen. Daher wird die Lesekompetenz als weitere Lernervoraussetzungen in dieser Studie erhoben.

Vorkenntnisse/Vorwissen

Wie bereits oben beschrieben, wird die Effektivität von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen auch dadurch bestimmt, wieviel Vorwissen die Lernenden bereits zu der vermittelten Thematik besitzen.

Während das Arbeiten mit Lösungsbeispielen besonders effektiv für Novizen mit geringem Vorwissen ist (*worked-example-effect*), kann die Arbeit mit Lösungsbeispielen für Lernende mit größerem Vorwissen (Experten) sogar hinderlich sein (*expertise-reversal-effect*).

Von gestuften Lernhilfen dagegen profitieren eher die Experten, da sie nicht alle Hilfen verwenden müssen und sie aufgrund ihres Wissens die Freiheiten bei der Bearbeitung von Aufgaben nutzen können (vgl. Franke-Braun, 2008). Das Vorwissen kann also die Effektivität der Unterstützungsangebote beeinflussen und wird daher hier als Lernervoraussetzung erhoben.

Selbstkonzept

In dieser Arbeit wird unter dem Begriff Selbstkonzept das Fähigkeitsselbstkonzept verstanden. Das Fähigkeitsselbstkonzept beschreibt im schulischen Kontext die „Gedanken über die eigenen Fähigkeiten in schulischen Leistungssituationen“ (Stiensmeier-Pelster, 2003, S. 4).

Nach Mayer (2012, S. 12) beinhaltet wissenschaftliches Denken auch naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. Mayer (2012) zeigte einen positiven Zusammenhang von Fähigkeitsselbstkonzept und wissenschaftlichem Denken in der Grundschule. Das Selbstkonzept ist durch die vorangegangenen Leistungen und Erfahrungen der S' uS mitbedingt und beeinflusst seinerseits Erwartungen an zukünftige Leistungen (Dickhäuser, 2006).

Für diese Arbeit muss darüber hinaus geklärt werden, wie sich das Selbstkonzept auf die Arbeit mit Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen auswirkt.

Stark, Flender und Mandl (2001, S. 11) berichten nur von einer geringen Wirkung des Selbstkonzepts auf den Lernerfolg bei der Arbeit mit Lösungsbeispielen. Es

kann allerdings nicht abgesichert werden, dass dies auch für die Arbeit mit gestuften Lernhilfen zutrifft. Aufgrund dieser Befunde kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Lernwirksamkeit der Unterstützungsangebote durch das Selbstkonzept der S' uS verschieden beeinflusst werden kann. Aus diesem Grund wurde das Selbstkonzept als zu erhebende Lernervoraussetzung in die Studie aufgenommen.

5 Ziele und Fragestellungen

Das Verständnis der VKS und der Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten ist bereits im Sachunterricht der Grundschule von Bedeutung. Daher verfolgt diese Arbeit das Ziel, Möglichkeiten zum Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule zu erforschen. Da dieser Erwerb mit Schwierigkeiten verbunden ist, erscheint das Darbieten von Unterstützungsangeboten, in Form von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen, sinnvoll. Um solche Unterstützungsangebote zu untersuchen, ist es notwendig, eine Intervention, die diese Unterstützungsangebote beinhaltet, zu entwickeln. Hieraus ergeben sich die in Kap. 5.2 gezeigten Entwicklungsziele.

Wie bereits beschrieben, konnte die generelle Lernwirksamkeit der Arbeit mit gestuften Lernhilfen bzw. mit Lösungsbeispielen in diversen Studien nachgewiesen werden (Kap. 4). Allerdings beziehen sich die meisten dieser Studien nur auf den Bereich der Sek I bzw. Sek II und nicht explizit auf den Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten durch Selbstlernmaterialien in der Grundschule. Daher ist es fraglich, ob sich die für die Sek I und II beschriebenen Ergebnisse auf den Bereich des Erwerbs VKS bezogener Fähigkeiten in der Primarstufe ohne Weiteres übertragen lassen.

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag dazu geleistet werden, diese Forschungslücken zu schließen. Dazu soll die Lernwirksamkeit von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen, bezogen auf den Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten in der Primarstufe, kontrastierend untersucht werden. Da die Lerngruppen in der Grundschule bzgl. Wissen und Entwicklungsstand eine große Heterogenität aufzeigen (Kluczniok et al., 2011, S. 180), stellt sich des Weiteren die Frage, ob, aufgrund von Lernervoraussetzungen (vgl. Kap. 4.2), Empfehlungen zum Arbeiten mit bestimmten Unterstützungsangeboten (gestufte Lernhilfen oder Lösungsbeispiele) ausgesprochen werden können. Somit ergibt sich folgendes Forschungsziel:

Forschungsziel

Empirischer Vergleich der Lernwirksamkeit von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen zum Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule unter Berücksichtigung verschiedener Lernervoraussetzungen.

5.1 Forschungsfragen

Wie in Kapitel 4.1.4 beschrieben, konnten Schmidt-Borcherding et al. (2013) feststellen, dass Lösungsbeispiele und gestufte Lernhilfen in der Sek I keine Unterschiede bezüglich des Lernzuwachses bewirken. Inwieweit diese Ergebnisse auch auf die Primarstufe übertragen werden können, ist allerdings nicht sichergestellt. Ein genereller Vorteil bzgl. des Lernzuwachses müsste auch bei der späteren Analyse unter Berücksichtigung der Lernervoraussetzungen mitbedacht werden. Daher soll zuerst geprüft werden, ob in dieser Studie ein genereller Unterschied bzgl. des Lernerfolgs zwischen dem Lernen mit Lösungsbeispielen und dem Lernen mit gestuften Lernhilfen gefunden werden kann. Hieraus resultiert die Forschungsfrage 1 (FF 1):

FF 1:

Profitieren Schülerinnen und Schüler verschieden von dem Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen beim Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten?

Im zweiten Schritt sollen die Lernervoraussetzungen mit in die Analyse einfließen. Als mögliche Lernervoraussetzungen wurden die Selbstregulationskompetenz, die Lesekompetenz, das Selbstkonzept sowie das Vorwissen identifiziert (vgl. Kap. 4.2). Vorwissen bezieht sich hier auf die Ausprägung bereits vorhandener VKSbezogener Fähigkeiten.

Ziel ist es, Gruppen von S' uS zu identifizieren, die durch Lösungsbeispiele bzw. gestufte Lernhilfen beim Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten besser unterstützt werden. Dazu muss zunächst überprüft werden, ob innerhalb der Stichprobe Gruppen identifiziert werden können, die sich mithilfe der verschiedenen Lernervoraussetzungen sinnvoll beschreiben und unterscheiden lassen. Dies führt zu Forschungsfrage 2 (FF 2):

FF 2:

Können anhand der Lernervoraussetzungen sinnvoll interpretierbare Gruppen von Schülerinnen und Schülern identifiziert werden?

Die Identifizierung solcher Gruppen führt zur dritten Forschungsfrage (FF 3). Es soll untersucht werden, wie das Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen in den identifizierten Gruppen auf den Lernerfolg wirkt.

FF 3:

Profitieren Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen verschieden von dem Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen beim Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten?

Bezogen auf die Lehrerperspektive besteht die Hoffnung, dass, wenn sich unterschiedliche Gruppen finden, für die verschiedene Unterstützungsangebote besser geeignet sind, sich Ansätze für die mögliche Gestaltung von binnendifferenzierten Arbeitsmaterialien ergeben. Aufgrund des Wissens der Lehrkraft um die Stärken und Schwächen der S' uS könnten diese dann die Klasse in entsprechende Gruppen einteilen und den Gruppen entweder Lernmaterial in Form von Lösungsbeispielen oder in Form von gestuften Lernhilfen zur Verfügung stellen. Dies würde es der Lehrkraft erleichtern, die S' uS im heterogenen Umfeld der Grundschule zielgleich zu unterrichten.

5.2 Entwicklungsziel und -fragen

Da für die vergleichende Untersuchung von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen zum Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule nicht auf vorhandene Materialien zurückgegriffen werden kann, muss eine entsprechende Intervention entwickelt werden, in der S' uS mit Lösungsbeispielen oder gestuften Lernhilfen arbeiten. Daraus ergibt sich folgendes Entwicklungsziel der Arbeit:

Entwicklungsziel

Entwicklung vergleichbarer Interventionsmaterialien, die auf Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen basieren, und den Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten fördern.

Um dieses Entwicklungsziel zu erreichen, muss, unabhängig davon, ob in der Intervention mit Lösungsbeispielen oder gestuften Lernhilfen gearbeitet wird, den S' uS das Erlernen von VKS-bezogenen Fähigkeiten ermöglicht werden. Daher führt das Entwicklungsziel zu folgender Entwicklungsfrage (EF 1).

EF 1:

Fördert der Umgang mit den umgesetzten Interventionen den Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten in der Grundschule?

Darüber hinaus kann aufgrund der Studienlage nicht ausgeschlossen werden, dass der Lernerfolg der eingesetzten Materialien durch motivationale Aspekte beeinflusst wird (vgl. Schmidt-Borcherding et al., 2013). Ebenfalls sollte aufgrund der durch die Arbeit mit VKS-Aufgaben hervorgerufenen kognitiven Entlastung auch geprüft werden, ob beide Angebote im gleichen Maße kognitiv entlastend wirken. Hieraus ergibt sich folgende Entwicklungsfrage (EF 2)

EF 2:

Finden sich Unterschiede bzgl. der aktuellen Motivation oder kognitiven Belastung zwischen der Arbeit mit Lösungsbeispielen und der Arbeit mit gestuften Lernhilfen?

Da bei der Entwicklung der Interventionsmaterialien auf eine starke Parallelisierung geachtet wurde (Inhalt, Layout etc.), wird für die spätere Vergleichbarkeit erwartet, dass beide Materialien gleichermaßen motivierend und kognitiv entlastend wirken. Sollten trotzdem Unterschiede bzgl. dieser Aspekte aufgedeckt werden, müssten sie in weiteren Analysen mitbetrachtet werden.

6 Studiendesign

Den Forschungs- und Entwicklungszielen wurde im Rahmen einer quantitativen Feldstudie nachgegangen. Zur Beantwortung dieser Fragen wurde eine Interventionsstudie mit einer Interventionsgruppe, aufgeteilt in zwei Materialgruppen (gestufte Lernhilfen bzw. Lösungsbeispiele), und einer Baselinegruppe durchgeführt. Um die Forschungs- und Entwicklungsfragen zu beantworten, wurden in der Interventionsgruppe vor und nach der Intervention Testinstrumente eingesetzt: ein Test zur Erfassung der VKS-bezogenen Fähigkeiten (Prä-Post) und weitere Tests zur Erfassung der jeweiligen Lernvoraussetzungen. Dieselben Tests wurden im selben zeitlichen Abstand in der Baselinegruppe eingesetzt. Die Baselinegruppe bearbeitete in der Zeit zwischen den Testungen keine Interventionsmaterialien. Eine Übersicht des Studiendesigns zeigt Tab. 6.1.

Tab. 6.1: Studiendesign: * entfällt bei Baseline; ** nur bei gestuften Lernhilfen

Studiensequenzen			Erhobene Daten	Zeit
erste Erhebung			VKS- Fähigkeiten- Prä (VKS-Prä-Test) Selbstregulationskompetenz Selbstkonzept Geschlecht	90 min
Baseline	Gruppen		momentane kognitive Belastung und Motivation * Nutzung der Hilfekarten **	2 x 90 min
keine Intervention	<u>Materialgruppe 1</u> gestufte Lernhilfen zu VKS	<u>Materialgruppe 2</u> Lösungsbeispiele zu VKS		
zweite Erhebung			VKS- Fähigkeiten- Post (VKS-Prä-Test) Lesekompetenz	90 min

Für die Beantwortung der Forschungs- und Entwicklungsfragen werden verschiedene Daten der ersten und zweiten Erhebung aus den Gruppen Baseline (keine Bearbeitung einer Intervention) und Intervention (Materialgruppen: gestufte Lernhilfen bzw. Lösungsbeispiele; jeweils Bearbeitung einer Intervention) herangezogen und miteinander verglichen.

Nutzung der erhobenen Daten

Um die erste Entwicklungsfrage zu beantworten, muss geprüft werden, ob die Bearbeitung der Interventionsmaßnahmen zu Lernzuwächsen führt. Dazu werden die Lernzuwächse der Interventionsgruppe (Lösungsbeispiele und gestufte Lernhilfen) zusammen untersucht. Hierzu ist es notwendig, die VKS-bezogenen Fähigkeiten der S' uS vor und nach der Bearbeitung der Interventionsmaterialien zu erheben. Deshalb wurde ein entsprechender Test zur Ermittlung der VKS-bezogenen Fähigkeiten im Prä-Post-Design eingesetzt. Sowohl Prä als auch Post wurde derselbe Test eingesetzt.

Da gefundene Lernzuwächse allerdings auch durch einen Testwiederholungseffekt bedingt sein könnten, muss hier geprüft werden, ob die S' uS nur durch das zweimalige Bearbeiten des Tests signifikante Lernzuwächse im Bereich der VKS-bezogenen Fähigkeiten erlangen. Hierzu wurde in der Baselinegruppe der VKS Test im selben zeitlichen Abstand wie in der Interventionsgruppe durchgeführt und mit den Lernzuwächsen der Interventionsgruppe verglichen.

Zur Beantwortung der zweiten Entwicklungsfrage wurden die S' uS während der Bearbeitung der Interventionsmaterialien dazu aufgefordert, Items zu beantworten, die Aufschluss über ihre momentane Motivation und kognitive Belastung geben. Mithilfe dieser Daten wurden die Materialien zu gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen, bezogen auf motivationale Aspekte und kognitive Belastung, miteinander verglichen.

Falls die Beantwortung der Entwicklungsfrage darauf hinweist, dass die Bearbeitung der Intervention lernwirksam ist, sollen zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wiederum die Lernzuwächse herangezogen werden. Hierzu werden dann die Lernzuwächse der Interventionsgruppe, getrennt nach gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen, betrachtet und anschließend miteinander verglichen.

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage werden in der Folge Daten zur Ausprägung der verschiedenen Lernervoraussetzungen benötigt. Diese wurden zum Teil zum Zeitpunkt der ersten Erhebung und zum Teil zum Zeitpunkt der zweiten Erhebung ermittelt. Dadurch sollte die Testzeit pro Erhebungstermin möglichst gering gehalten werden. Für die Lernervoraussetzungen „Vorwissen“ werden die Daten aus dem VKS-Test (Prä) herangezogen.

Falls die dritte Forschungsfrage bearbeitet werden kann, werden in entsprechenden Gruppen von Lernenden die Lernzuwächse getrennt nach Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen miteinander verglichen. Hierfür werden sowohl die Ergebnisse aus der zweiten Forschungsfrage als auch die gemessenen Lernzuwächse benötigt.

Entwicklungsteil

7 Intervention

In dieser Studie soll die Förderung VKS bezogener Fähigkeiten von S' uS mittels Interventionsmaßnahmen in Form von Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen untersucht werden. Zum Erreichen dieses Ziels wurden entsprechende Interventionsmaterialien entwickelt. Die hierfür geleistete Entwicklungsarbeit wird in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Wie bereits beschrieben, sind mit der VKS bestimmte VKS-bezogene Fähigkeiten verknüpft. Diese veranschaulicht das Modell nach Schwichow (2015, S. 56) in Abb. 3.1.

Die Facetten zeigen auf, in welchen Bereichen die S' uS zur Steigerung ihrer VKS-bezogenen Fähigkeiten gefördert werden können. Für eine solche Förderung sollten die Interventionsmaßnahmen daher die verschiedenen Facetten der VKS ansprechen und entsprechende Lernmöglichkeiten bieten.

Studien zeigen, dass der Erwerb der VKS mit unterschiedlichen Schwierigkeiten verbunden ist (Kap. 3.2). So ist es u.a. nicht sichergestellt, dass sich die S' uS nur auf eine UV festlegen und diese variieren. Um erfolgreich zu experimentieren, ist dies allerdings zentral. Aus diesem Grund wurde hier das bisher verwendete Modell nach Schwichow (2015, S. 56) um die Facette „Variation und Auswahl“ erweitert, die die Fähigkeit beschreibt, die UV passend zur Fragestellung zu variieren (vgl. Abb. 7.1).

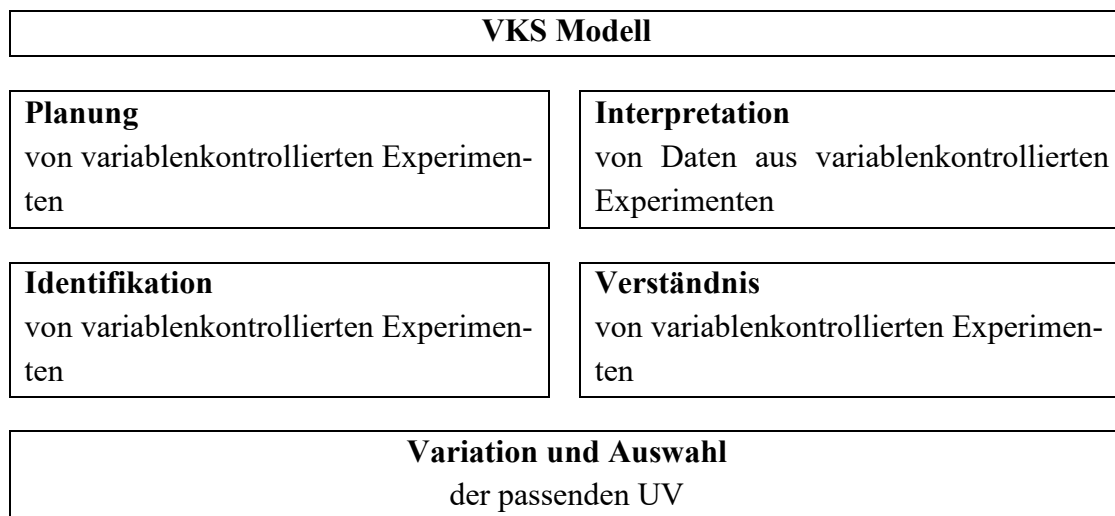


Abb. 7.1: Erweitertes Modell angelehnt an Schwichow (2015, S. 56)

Verknüpft mit dem Ziel der Intervention (Förderung der VKS-bezogenen Fähigkeiten) sind verschiedene Lernziele, die die S' uS bei der Arbeit mit den Interventionsmaterialien erreichen sollen. Diese lassen sich aus dem gezeigten Modell Abb. 7.1. ableiten.

Die S' uS ...

- können die UV, AV und KVen eines Experiments unterscheiden.
- können bei vorgegebener AV passende Materialien für die UV und KVen wählen.

Anmerkung: Verknüpft mit der passenden Auswahl an Materialien ist auch die Durchführung des Experiments. Als querliegendes Konzept ist die VKS auch in der Durchführung verortet, so muss das in der Planung gewählte Material auch wirklich verwendet und z.B. darauf geachtet werden, dass bei dem Vergleich zweier Marmelbahnen die Marmeln von derselben Stelle losgelassen werden. Die Durchführung wurde nicht als eigenständiges Lernziel der Interventionsmaterialien aufgenommen, da sie nicht als klare Facette in dem zugrundeliegenden Modell Abb. 7.1. aufgeführt wird. Aufgrund der hier verwendeten Modellierung des Experiments in unterschiedliche Phasen wird sie trotzdem in stark angeleiteter und didaktisch reduzierter Form im Interventionsmaterial dargestellt.

- können begründen, warum konfundierte Experimente nicht zur Untersuchung einer UV geeignet sind.

7.1 Grundstruktur der Unterstützungsangebote

In Anlehnung an Schmidt-Borcherding et al. (2013) wurden die gestuften Lernhilfen aus den Lösungsbeispielen heraus entwickelt. Daraus folgt eine gemeinsame Grundstruktur der beiden Unterstützungsangebote. Diese wird in Kapitel 7.1 vorgestellt. Davon ausgehend werden Gestaltungsmerkmale der Arbeitshefte zu Lösungsbeispielen und der daran angelehnten Arbeitshefte zu gestuften Lernhilfen in den Kapiteln 7.2 und 7.3 beschrieben.

Arbeitshefte

In der Intervention sollen VKS-bezogene Fähigkeiten gefördert werden. Dabei werden die S' uS durch Lösungsbeispiele unterstützt bzw. können auf gestufte Lernhilfen zurückgreifen.

Da es als schwierig erachtet wurde, die VKS auf einer reinen Metaebene zu vermitteln, wurden zur Vermittlung konkrete Beispiele herangezogen (*double-content*). Diese wurden inhaltlich möglichst einfach gewählt (auf der steilen Bahn ist die Murmel schneller), um durch den *double-content* nicht den Fokus auf die Vermittlung von VKS-bezogenen Fähigkeiten zu verlieren.

Um den S' uS darüber hinaus die breite Anwendbarkeit der VKS zu verdeutlichen, wurden Interventionsmaterialien zu vier unterschiedlichen Themengebieten (Murmelpbahnen, (Schrauben)federn, Brausetabletten und Schaukeln) entwickelt.

Hierdurch wurde der Empfehlung entsprochen, dass der Einsatz mehrerer Lösungsbeispiele mit unterschiedlichen Oberflächenmerkmalen die Wirksamkeit von Lösungsbeispielen steigert (Kap. 4). Die Alltäglichkeit der Themengebiete sollte den S' uS den Zugang erleichtern. Um die Unterstützungsmaßnahmen vergleichen zu können, wurden für jedes Themengebiet je zwei Arbeitshefte entwickelt (gestufte Lernhilfen bzw. Lösungsbeispiele). Insgesamt wurden demnach acht Arbeitshefte entwickelt - jeweils eins je Unterstützungsangebot und Themengebiet (vgl. Abb. 7.2).

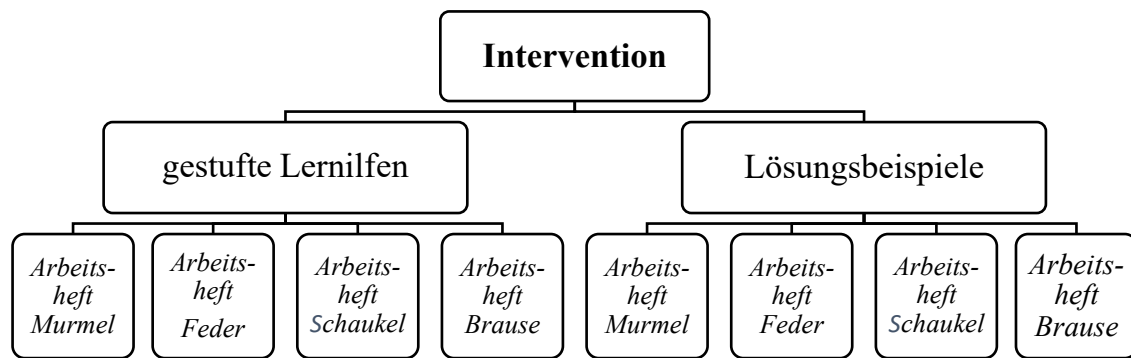


Abb. 7.2: Organisation der Themen der Interventionsgruppe

Angeleitet durch die Arbeitshefte sollten die S' uS ebenfalls Experimente zu den Themengebieten mit vorgegebenem Experimentiermaterial umsetzen. Diese Materialien wurden für jedes Themengebiet so gestaltet, dass von den S' uS jeweils drei Variablen verändert werden konnten.

So konnte bei der Murmelbahn die Höhe der Bahn (hoch / niedrig), die Beschaffenheit des Bodens der Bahn (wellig / glatt) und die Größe der verwendeten Murmel (groß / klein) gewählt werden.

Um die Experimente möglichst einfach zu gestalten, wurde die Entscheidung getroffen, nur qualitative Daten zu erheben - also keine Messreihen oder exakte Zeitmessungen vorzunehmen. Deshalb sollten in den zu bearbeitenden Experimenten immer Paarvergleiche durchgeführt werden. Bei Paarvergleichen werden zwei Bedingungen direkt verglichen. Z.B. werden zwei Murmelbahnen nebeneinander aufgebaut. Die Murmeln werden gleichzeitig am Bahnanfang losgelassen und es wird verglichen, auf welcher Bahn die Murmel zuerst das Ende der Bahn erreicht. Da bei diesem Vorgehen keine genauen Daten für die AV gemessen werden (z.B. Zeiten oder Geschwindigkeiten), sondern nur Aussagen darüber getroffen werden, auf welcher Bahn die Murmel „zuerst am Ende der Bahn ist“, rückt die Bedeutung der AV und deren möglichst genaue Erfassung hier etwas in den Hintergrund. Vielmehr wird in dem Material dargestellt, wie und warum welche Ausprägungen von UV und KVen gewählt werden, womit die Bedeutung dieser Variablen im Material etwas prominenter vertreten ist.

Von den im Material dargebotenen Variablen werden in den Arbeitsheften jeweils zwei thematisiert und bzgl. ihrer Einflüsse untersucht. Bspw. soll beim Thema

Murmelbahnen untersucht werden, inwieweit die Höhe der Bahn bzw. die Beschaffenheit des Bodens einen Einfluss darauf haben, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.

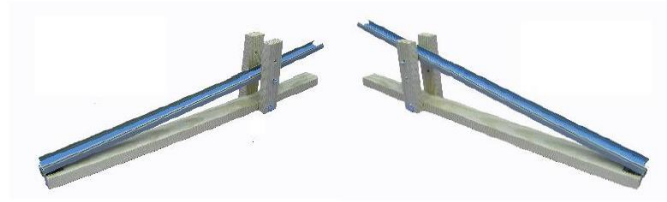
Diese Beschränkung auf zwei von drei Variablen ermöglicht es einerseits, in dem Posttest Items zu einem bekannten Experiment mit einer noch nicht in der Intervention behandelten Variable zu konzipieren. In dem genannten Beispiel zur Murmelbahn wäre dies ein Item zur Größe der Murmel. Andererseits können die S' uS in der zur Verfügung stehenden Zeit mehrere unterschiedliche Themengebiete bearbeiten. Dadurch steigt die Varianz an bearbeitbaren Themengebieten, wodurch die allgemeine Gültigkeit der VKS aufgezeigt werden soll. Die eingesetzten Arbeitshefte können in Anhang A (Interventionsmaterial) eingesehen werden.

Coverstory

Um den S' uS den Zugang zu der Thematik zu erleichtern, wurden die Lerninhalte der Arbeitshefte in eine Coverstory eingebettet. Diese sollte in Anlehnung an Renkl (2014) Identifikationsmerkmale beinhalten. Daher wurde die Coverstory als ein Dialog zwischen zwei fiktiven Kindern (Tom und Suse) gestaltet. Dies ermöglichte es, Informationen in kindgerechter Sprache darzubieten, indem sich Fragen zu dem Spielmaterial ergeben, die experimentell geklärt werden können („Warum rollt eine Murmel eigentlich mal schnell und mal langsam?“). Bei der Beantwortung dieser Fragen sollen die S' uS Tom und Suse helfen. Die Darstellung dieser Gegebenheit sollte es den S' uS erleichtern, sich in die Situation hineinzuversetzen.

Die Dialogform wurde außerdem gewählt, da diese eine klare Strukturierung der Inhalte ermöglicht und so das Material übersichtlicher gestaltet werden konnte. Hierdurch sollte die durch das Layout hervorgerufene extrinsische Belastung minimiert werden. Ebenfalls wurde darauf geachtet, eine möglichst kindgerechte Sprache zu gebrauchen (vgl. Abb. 7.3), die Verwendung von Fachbegriffen zu minimieren und Erklärungen zu nicht vermeidbaren Fachbegriffen einzufügen.

Tom und Suse spielen mit selbstgebastelten Marmelbahnen.



Tom: „Auf meiner Bahn rollt die Marmel viel schneller als auf deiner! Sie erreicht schneller das Ende der Bahn.“

Suse: „Ist doch klar, deine Bahn ist viel steiler und ich nehme eine kleinere Marmel als du.“

Tom: „Aber dafür habe ich einen welligen Boden und du nicht!“

Suse: „Warum rollt eine Marmel eigentlich mal schnell und mal langsam?“

Tom: „Gute Frage! Das versuchen wir herauszufinden. Am besten schreiben wir zuerst auf, worin sich unsere Marmelbahnen unterscheiden können.“

Abb. 7.3: Beispiel Coverstory zum Thema Marmelbahnen (Lösungsbeispiele)

7.1.1 Gestaltung der Arbeitshefte

Darstellung der Variablen

Folgt man dem Modell von Schwichow (2015, S. 56), ist es für das Verständnis der VKS wichtig, UV, AV und KVen voneinander zu trennen und die Funktion der einzelnen Variablentypen zu kennen.

Alle Variablentypen werden in den Arbeitsheften thematisiert. Um den S' uS die Unterscheidung zwischen diesen zu erleichtern, wurde jedem Variablentyp eine andere Farbe zugeordnet. Informationen und Inhalte zu den jeweiligen Variablentypen sind im Text durch entsprechenden Farb- und Fettdruck oder entsprechende farbige Kästchen hervorgehoben. Die genaue Bedeutung der einzelnen Farbmarkierungen wurde den S' uS nicht erläutert, um unnötige Fachbegrifflichkeiten (z.B. Namen der Variablentypen) zu vermeiden. Vielmehr sollte durch diese Markierung verdeutlicht werden, dass bestimmte Aspekte zusammengehören. In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Variablentypen mit einer beispielhaften Beschreibung in Form einer Frage und der zugeordneten Farbe im Interventionsmaterial dargestellt (vgl. Tab. 7.1).

Tab. 7.1: Beschreibung und Markierung der unterschiedlichen Variablen im Interventionsmaterial

Variablentypen	Beschreibung aus Interventionsmaterial	Farbe
abhängige Variable	Was muss beobachtet werden?	Grün
Kontrollvariable	Was muss gleich sein?	Blau
unabhängige Variable	Was muss unterschiedlich sein?	Rot
weitere wichtige Begriffe		Schwarz; Fett-druck

Verknüpfung von Bild- und Textstrukturen

Um die extrinsische Belastung, bei dem gleichzeitigen Verwenden von Bild- und Textinformationen, gering zu halten, sollen Bilder nach Möglichkeit in Texte integriert bzw. eng damit verknüpft werden (Kap. 4.1.2; Atkinson et al., 2000). Dieser Empfehlung wurde auch bei der Gestaltung der Arbeitshefte nachgegangen. Besonders prominent ist diese Integration bei der Beschreibung der Durchführung der Experimente. Hierbei finden sich neben den schriftlichen Hinweisen zur Durchführung immer entsprechende Bilder der zu verwendenden Materialien (Abb. 7.6; S. 58). Um den S' uS zu erleichtern, einen Bezug zwischen dem gelesenen Text und den Bildern herzustellen, wurden Bilder der realen Experimentiermaterialien in die Arbeitshefte aufgenommen. Gleiches gilt für die Bilder der unten beschriebenen Prompts.

Ausgestaltung der Arbeitshefte

Da der Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten durch die Bearbeitung von entsprechenden Aufgaben kognitiv belastet (Kap. 3.2), ist es notwendig, die Inhalte der Intervention kognitiv zu entlasten. Dies geschieht durch die Unterstützungsangebote. Verknüpft mit diesen sind Merkmale, die bei der Gestaltung der Arbeitshefte beachtet werden sollten, um die Wirkung der Angebote zu optimieren.

So werden im Verlauf jedes Arbeitsheftes Auswahl und Ausprägung der UV, AV und KVen thematisiert. Um eine Überlastung durch die gleichzeitige Präsentation aller Aspekte zu vermeiden, wurden die Variablentypen in den Arbeitsmaterialien, wenn möglich zunächst getrennt, eingeführt (z.B. Ausprägung einer der KVen; vgl. Abb. 7.4).

Tom: „Dann los! Wir lassen zwei Murmeln gleichzeitig runterrollen! Dann beobachten wir, welche Marmor schneller das Ende der Bahn erreicht!

Aber welche Murmeln nehmen wir?“

Suse: „Wir müssen zwei gleich große Murmeln nehmen.“

Tom: „Warum?“

Suse: „Wenn die Murmeln unterschiedlich groß sind, können wir nicht sagen, ob es am Boden der Bahn oder der Größe der Marmor liegt, dass eine Marmor schneller das Ende der Bahn erreicht.“

Tom: „Stimmt. Wir wollen NUR untersuchen, ob der Boden der Bahn wichtig ist.

Dafür darf sich nur der Boden unterscheiden. Alles andere muss gleich sein.“

Suse: „Gut, dann nehmen wir zwei kleine Murmeln.“

Abb. 7.4: Coverstory zur Wahl einer KV

Dieses Vorgehen ermöglicht die Unterteilung jedes Arbeitsheftes in Sinnabschnitte, in denen verschiedene Unterziele elaboriert werden (Catrambone & Holyoak, 1990). Diese Sinnabschnitte adressieren jeweils verschiedene VKS-bezogene Fähigkeiten nach dem in Abb. 7.1 vorgestellten Modell. Ein Sinnabschnitt umfasst ein bis zwei Seiten des Arbeitsheftes. Dadurch wurden die Informationen, die die S' uS auf einmal erhielten bzw. verarbeiten mussten, reduziert (vgl. 4.1.2). Tab. 7.2 zeigt eine Übersicht über die Reihenfolge und die Inhalte der verschiedenen Sinnabschnitte sowie die jeweilig angesprochenen Facetten.

Zu den Sinnabschnitten „Planung (Teil I)“, „Planung (Teil II)“, „Sicherung“ und „konfundiertes Experiment“ wurden den S' uS schriftliche Aufgaben in Form von Prompts präsentiert. Im Theorieteil (Kap. 4) wurde bereits die besondere Lernwirksamkeit solcher Prompts (Aufforderung zur Selbsterklärung) beschrieben.

Zur Beantwortung der Prompts sollten die S' uS auf die Informationen in der Coverstory beim Arbeiten mit Lösungsbeispielen bzw. auf die Lernhilfen beim Arbeiten mit gestuften Lernhilfen zurückgreifen. Dies sollte zu einem aktiven Arbeiten mit den zur Verfügung stehenden Materialien führen.

In den Sinnabschnitten zur „Durchführung“ werden die S' uS aufgefordert, Experimente nach Anleitung durchzuführen. Das in den Sinnabschnitten benötigte Experimentiermaterial war identisch für gestufte Lernhilfen und Lösungsbeispiele.

Auf den Inhalt der einzelnen Sinnabschnitte und die damit verbundenen Aufgaben wird genauer im folgenden Kapitel eingegangen.

Tab. 7.2: Grundlegende Struktur der Arbeitshefte zu Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen. Die mit einem * gekennzeichneten Sinnabschnitte sind in gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen identisch.

Sinnabschnitt	Inhalt	Beispiel zum Thema Murnelbahn	Facette
1. Einleitung*	Aufwerfen einer Fragestellung. Vorstellung des Materials.	Warum rollt eine Murnel mal schnell und mal langsam?	/
2a. Planung Teil I	Festlegung auf eine konkrete Fragestellung. Festlegung der AV. Ausprägung der UV und einer KV wird von den S' uS erarbeitet und begründet.	Untersuchung des Einflusses der Bodenbeschaffenheit AV: Rolldauer der Murnel UV: Boden der Bahn KV 1: Höhe der Bahn	Planung/ Identifikation
2b. Planung Teil II	Wiederholung der AV. Ausprägung der zweiten KV wird von den S' uS erarbeitet und begründet.	s.o. KV 2: Größe der Murnel	Planung/ Identifikation

Sinnabschnitt	Inhalt	Beispiel zum Thema Murmelbahn	Facette
3. Durchführungen*	Die S' uS führen mithilfe einer Anleitung ein Experiment zur Untersuchung der UV durch.	Aufbauen. Erste Bahn: wellig/niedrig/kl. Murmel Zweite Bahn: glatt/niedrig/kl. Murmel	Interpretation, Variation und Auswahl
4. Sicherung	Festlegung der AV, UV und KVen wird in einer Tabelle gesichert.	Ausfüllen der Tabelle: Was muss unterschiedlich sein? Was muss gleich sein? Was muss beobachtet werden?	Planung
5.-7. Wiederholung	Wiederholung der Sinnabschnitte 2-4 für eine andere UV.	s.o. mit der Höhe der Bahn als UV.	s.o.
8. konfundiertes Experiment	Die S' uS erarbeiten und begründen, warum aus einem konfundierten Experiment keine Schlüsse gezogen werden können.	Begründung, warum die Einflüsse von Höhe und Boden nicht in einem einzigen Experiment untersucht werden können.	Verständnis

7.2 Arbeitshefte - Lösungsbeispiele

Im Folgenden wird die Gestaltung der Arbeitshefte und Prompts der einzelnen Sinnabschnitte anhand der Arbeitshefte zu Lösungsbeispielen näher vorgestellt und die Designentscheidungen werden begründet. Daran anschließend werden Änderungen dieser Elemente und der Aufbau der Arbeitshefte mit gestuften Lernhilfen beschrieben. Die Gestaltung aller Fragen und der jeweiligen Texte der Arbeitshefte kann aus dem Interventionsmaterial Anhang A (Interventionsmaterial) entnommen werden.

Einleitung

Der Sinnabschnitt der Einleitung führt die S' uS in das Themengebiet ein. Es wurde eine Coverstory (Kap. 4.1.2 und Kap. 7.1) verwendet, in der zwei Kinder, Tom und Suse, mit dem vorgegebenen Material spielen. Integriert in diesen Dialog wurden die verschiedenen Materialien in Tabellenform vorgestellt und etwaige unbekannte Begrifflichkeiten erklärt. Dieser Sinnabschnitt wurde in beiden Unterstützungsangeboten identisch gestaltet, da er die zentralen Informationen zum weiteren Arbeiten enthält.

Planung

Um belastbare Ergebnisse zu erhalten, muss die VKS bereits bei der Planung eines Experiments mitbedacht werden. Um die S' uS bei den hierfür notwendigen Entscheidungen bzgl. Auswahl und Variation der UV, AV und KVen zu entlasten, wurde im Dialog von Tom und Suse die zu untersuchende UV vorgegeben (z.B. „Lass uns untersuchen, ob der Boden der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.“) und die AV („... schneller das Ende der Bahn erreicht.“) festgelegt.

Zur weiteren Entlastung wurde entschieden, die genaue Materialwahl in zwei optisch voneinander getrennten Sinnabschnitten (Planung Teil I und Planung Teil II) zu erarbeiten. In Planung Teil I liegt der Fokus auf der Unterscheidung zwischen einer UV und einer KV und der daraus resultierenden Materialwahl, in Planung Teil II auf der Materialwahl für die weitere KV.

Dadurch soll den S' uS direkt verdeutlicht werden, dass es Variablen gibt, die konstant gehalten werden müssen und Variablen, die sich unterscheiden.

Abb. 7.5 zeigt ein Beispielprompt zu dem Planungsteil. Das Beispiel ist dem Lösungsbeispiel „Murmelbahnen“ aus Planung Teil I entnommen. Es ist zu erkennen,

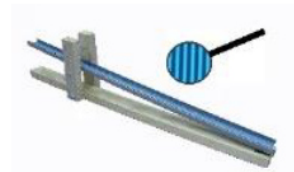
dass der Frageteil des Prompts neben Textinformationen zusätzliche Bildinformationen (Integration von Bild und Textinformation; Kap. 4.1.2) enthält, die eine bereits ausgewählte Murmelbahn darstellt.

Der Antwortteil ist zweigeteilt. Zuerst sollen die S' uS auf Grundlage der Informationen aus dem Lösungsbeispiel die passende zweite Bahn für einen Paarvergleich durch Ankreuzen auswählen, wobei nur eins der Bilder einen unkonfundierten Paarvergleich ermöglicht. Anschließend werden die S' uS aufgefordert, ihre Entscheidung kurz zu begründen (Kap. 4.1.2).

Die Antwort auf den Prompt lässt sich aus dem vorherigen Text entnehmen. Die im Text gegebenen Informationen müssen hier auf die Bildinformationen übertragen werden. Dies erfordert ein aktives Auseinandersetzen mit dem Text. Um die S' uS zum Nachlesen zu ermuntern, wird im Prompt explizit auf den Text verwiesen.

Aufgabe:

Tom und Suse wollen wissen: Bestimmt der Boden der Bahn, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht? Sie haben schon eine niedrige Bahn mit welligem Boden ausgesucht:



Mit welcher Bahn müssen sie diese Bahn vergleichen, um ihre Frage zu beantworten?

Kreuze die passende Bahn an und begründe, warum Tom und Suse diese beiden Bahnen vergleichen sollen!

Was Tom und Suse oben besprochen haben, hilft dir bei der Antwort.

☐	☐	☐	☐

Begründung: Suse und Tom sollen diese beiden Bahnen vergleichen,

weil... _____

Abb. 7.5: Beispielaufgabe aus dem Sinnabschnitt „Planung Teil I“ aus einem Lösungsbeispiel zur UV und ersten KV.

Die Prompts zur Planung Teil II sind weitgehend identisch gestaltet, nur dass dabei die Auswahl von vier auf zwei Antworten beschränkt ist (z.B. große oder kleine Murmel).

Durchführung

Nach der Planung soll das Experiment durch die S' uS durchgeführt werden, obwohl die Durchführung eines Experiments nicht konkret in den Lernzielen adressiert ist. Da die Durchführung aber als eigenständige Phase in der hier verwendeten Modellierung eines Experiments eingebunden ist und ein kompletter Verzicht auf die Durchführung als realitätsfern und wenig motivierend anzusehen ist, wird sie dennoch in einem eigenen Sinnabschnitt thematisiert. Es wurde allerdings darauf verzichtet, diesen Sinnabschnitt in Form von Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen auszugestalten. Daher ist dieser Sinnabschnitt in beiden Unterstützungsangeboten identisch gestaltet und soll möglichst zeitsparend bearbeitet werden, kognitiv wenig belasten aber trotzdem passende Resultate zum Weiterarbeiten garantieren. Dies soll die Auswirkung der Durchführung des Experiments auf etwaige Lernzuwächse zwischen den Angeboten gleichhalten.

Aus diesem Grund wurden alle nötigen Informationen auf einer Seite übersichtlich in einer Schritt für Schritt Anleitung des Experiments, das Tom und Suse durchführen, dargestellt (vgl. Abb. 7.6). Auch in dieser Anleitung wurde die oben beschriebene Farbcodierung (Tab. 7.1) umgesetzt. Außerdem werden durch das Abarbeiten der Anleitung die bisher erlernten Inhalte weiter gefestigt. Dies erleichtert die auf der nächsten Seite des Arbeitsheftes geforderte Zusammenfassung in eigenen Worten.

Unter der Schritt für Schritt Anleitung finden die S' uS einen Antwortsatz von Tom und Suse zu der aufgeworfenen Fragestellung.

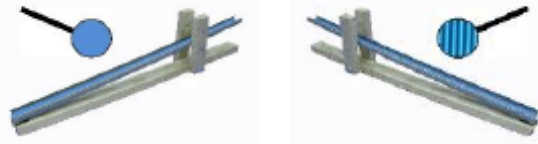
Am Ende des Sinnabschnittes werden die S' uS aufgefordert, das Experiment von Tom und Suse selbst nachzustellen und anzugeben, ob sie zu dem gleichen Resultat wie Tom und Suse kommen.

Suse und Tom untersuchen mit folgendem Vergleich, ob der Boden der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.

1) Sie legen **unterschiedliche Böden** in die Bahnen. In die eine den welligen Boden und in die andere den glatten Boden.



2) Sie stellen beide Bahnen auf die **gleiche Höhe** (beide unteres Loch).



3) Sie suchen zwei **gleich große Murmeln** aus (kleine Murmeln).



4) Suse legt die Murmeln jeweils auf das obere Ende der Bahn und hält sie dort fest.

5) Tom zählt „EINS, ZWEI, DREI, LOS!“ Auf „Los“ lässt Suse beide Murmeln gleichzeitig los.

6) Beide **beobachten**, auf welcher Bahn **die Murmel schneller das Ende der Bahn erreicht**.

Suse und Tom schreiben ihr Ergebnis so auf:

*„Auf dem glatten Boden erreicht die Murmel schneller das Ende der Bahn.
Der Boden der Bahn bestimmt also, wie schnell eine Murmel rollt.“*

Aufgaben:



Zeigt nun auf! Ihr bekommt dann das Material zum Experimentieren.



Macht den Vergleich von Suse und Tom gemeinsam nach!



Kommt ihr zu dem gleichen Ergebnis wie Tom und Suse? Kreuzt an!

☐ Ja

☐ Nein

Abb. 7.6: Beispielseite zum Sinnabschnitt „Durchführung“

Sicherung

Durch diesen Sinnabschnitt sollen die bisherigen Inhalte nochmals gefestigt werden. Hierzu wird erneut das oben beschriebene Prompting herangezogen. So sollen die S' uS UV, KVen und AV tabellarisch gegenüberstellen (Abb. 7.7). Dabei wurde ebenfalls auf die bereits beschriebene Farbkodierung zurückgegriffen (Tab. 7.1).

Der Prompt kann nur unter Rückbezug auf die bisher vermittelten Inhalte beantwortet werden und zeigt den S' uS die Unterschiede zwischen den verschiedenen Variablentypen nochmals auf. Durch die geforderte Formulierung in eigenen Worten sollen den S' uS mögliche Verständnisprobleme verdeutlicht werden, z.B. wenn ihnen die konkrete Formulierung schwerfällt und somit Gelegenheit zum Wiederholen der Inhalte (z.B. durch Nachlesen oder der Diskussion mit dem Tandempartner) gegeben werden.

Aufgabe:

*

 Fülle die Tabelle aus! Was Tom und Suse oben aufgeschrieben haben, hilft dir dabei.

Frage: Bestimmt der Boden der Bahn, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht?		
Was muss unterschiedlich sein?	Was muss gleich sein?	Was muss beobachtet werden?

Abb. 7.7: Beispielaufgabe aus dem Sinnabschnitt „Sicherung“ aus einem Lösungsbeispiel. Der mit einem * gekennzeichnete Satz lautet im Arbeitsheft zu gestuften Lernhilfen: „Wenn du Hilfe brauchst, dann schau hier nach: Hilfestapel B.“

Hiernach wiederholen sich die Sinnabschnitte Planung, Durchführung und Auswertung in einem Arbeitsheft. Dabei bleibt das Themengebiet dasselbe, allerdings wird eine andere UV betrachtet, z.B. die Höhe der Bahn.

Konfundiertes Experiment

Im letzten Sinnabschnitt jedes Arbeitsheftes schlägt Tom vor, mehrere Variablen gleichzeitig in einem konfundierten Experiment zu untersuchen.

Der Prompt zu diesem Sinnabschnitt (Abb. 7.8) fordert die S' uS auf, in eigenen Worten zu formulieren, warum Suse Toms Idee nicht gut findet. Durch diese abschließende Aufgabe werden die S' uS dazu aufgefordert, die Sinnhaftigkeit der getrennten Untersuchung nochmals zu reflektieren. Durch die Aufforderung, die Begründung in eigenen Worten aufzuschreiben, sollen mögliche Schwierigkeiten bei dem Verständnis der VKS aufgezeigt werden. Dadurch wird ggf. ein Anreiz geschaffen, die bisherigen Ergebnisse und Begründungen nochmals anzusehen und zu überdenken.

Aufgabe:



Begründe, warum Suse findet, dass Toms Idee nicht gut ist!
Was Tom und Suse oben besprochen haben, hilft dir bei der Antwort.

Suse findet Toms Idee nicht gut,

weil..._____

Abb. 7.8: Beispielaufgabe aus dem Sinnabschnitt „konfundiertes Experiment“ aus einem Lösungsbeispiel. Der mit einem * gekennzeichnete Satz lautet im Arbeitsheft zu gestuften Lernhilfen: „Wenn du Hilfe brauchst, dann schau hier nach: Hilfestapel G.“

7.3 Arbeitshefte - gestufte Lernhilfen

Arbeitshefte

Die Arbeitshefte zu den gestuften Lernhilfen sind aus den Arbeitsheften zu den Lösungsbeispielen hervorgegangen (vgl. Kap. 4.1.4). Deshalb folgen sie derselben grundlegenden Struktur (vgl. Tab. 7.2). Durch die weitgehend gleiche Gestaltung der Sinnabschnitte soll erreicht werden, dass bei der Auswertung Unterschiede im Lernerfolg sich möglichst nur auf die unterschiedliche Art der Vermittlung zurückführen lassen, nicht aber auf verschiedene Designelemente.

Bei der konkreten Ausgestaltung der Sinnabschnitte sind solche zu unterscheiden, die identisch in gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen sind (Einleitung und Durchführung) und solche, die sich formatbedingt unterscheiden (Planung, Sicherung und konfundiertes Experiment).

In den Sinnabschnitten, die sich formatbedingt unterscheiden, sind die Dialoge von Tom und Suse sowie die deren festgehaltene Ergebnisse auf ein Minimum begrenzt. Es wurde aber darauf geachtet, die Maßnahmen zur kognitiven Entlastung aus den Lösungsbeispielen, wie z.B. das farbliche Hervorheben, zu übernehmen.

Die Dialoge liefern nur begrenzte Informationen und leiten auf den jeweiligen Prompt des Sinnabschnittes hin.

Die Prompts sind weitgehend identisch zu denen in den Lösungsbeispielen gestaltet. Zu jedem Sinnabschnitt im Arbeitsheft wurden gestufte Lernhilfen entwickelt (Ausnahme „Einleitung und Durchführung“). Alle Hilfekarten zu einem Sinnabschnitt eines Arbeitsheftes werden zusammen als Hilfestapel bezeichnet.

In den Prompts der gestuften Lernhilfen findet sich daher nicht ein Hinweis auf die Unterhaltung von Tom und Suse, sondern ein Hinweis auf die Hilfekarten: z.B. „Wenn du Hilfe brauchst, dann schau hier nach: Hilfestapel A.“

Im Sinne des Unterstützungsangebots (Kap. 4.1.3) sollen die S' uS zur Bearbeitung des Arbeitshefts zunächst auf eigenes Wissen zurückgreifen. Kommen die S' uS zusammen mit ihrem Tandempartner nicht zu einer Lösung, sollen sie die bereitgestellten gestuften Lernhilfen nutzen. Es wurde bei der Gestaltung der Hilfen darauf geachtet, dass die zur Verfügung gestellten Informationen sowohl im Inhalt als auch in der Reihenfolge den Inhalten, die sich in den Lösungsbeispielen finden, entsprechen.

Hilfekarten

Als gestufte Lernhilfen werden in dieser Arbeit mehrere aufeinander aufbauende Hilfekarten bezeichnet (Leisen, 1999). Die S' uS sollen die erste Hilfekarte dann nehmen, wenn sie der Prompt in einem Sinnabschnitt nicht selbstständig und auch nicht zusammen mit ihrem Tandempartner lösen können. Die Lernhilfen folgen dabei dem Muster: Frage bzw. Aufforderung – Antwort. Dies bedeutet, auf der ersten Hilfekarte findet sich eine Frage bzw. eine Aufforderung als Denkanstoß. Die nächste Hilfekarte (Hilfekarte der nächst höheren Stufe) soll dann genommen werden, wenn die S' uS weiterhin den Prompt nicht beantworten können. Auf dieser findet sich eine Antwort auf die Frage der vorangegangenen Hilfekarte und eine neue Frage bzw. Aufforderung als weiterer Denkanstoß (vgl. Abb. 7.9).

A1:

Tom und Suse wollen wissen:

Bestimmt der Boden der Bahn, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht?

Sie haben eine Bahn mit einem welligen Boden ausgesucht.



Sie wollen diese Bahn mit einer anderen Bahn vergleichen.

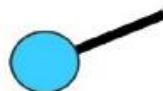
Frage:

Welchen Boden muss die andere Bahn haben, damit Tom und Suse ihre Frage beantworten können?
Überlegt gemeinsam!

A2:

Beispiellösung

Tom und Suse wollen wissen, ob der Boden der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht. Deshalb muss **der Boden der Bahnen unterschiedlich** sein. Die andere Bahn muss also einen glatten Boden haben.



Frage:

Die ausgesuchte Bahn ist **niedrig**.

Sollten Tom und Suse die andere Bahn für ihren Vergleich niedrig oder hoch einstellen?

Überlegt gemeinsam!

Abb. 7.9: Hilfekarten zum Themengebiet Murmelbahn, Sinnabschnitt „Planung Teil I“

Für die konkrete Entwicklung der gestuften Lernhilfen wurde auf die Gestaltungsmerkmale nach Franke-Braun et al. (2008, S. 28–29) zurückgegriffen. Diese wurden bereits in Kapitel 4.1.3 vorgestellt. Tab. 7.3 zeigt, welche dieser Merkmale in welchem Hilfestapel umgesetzt wurden.

Tab. 7.3: Merkmale der Hilfestapel

Merkmal	Hilfestapel	Art der Umsetzung
Elaborieren von Unterzielen	alle Hilfekarten aller Sets, außer Musterlösung	Frage am Ende der Hilfekarte Lösung des Unterziels auf nächster Hilfekarte
Paraphrasieren von Aufgaben	erste Hilfekarte aller Hilfestapel	Paraphrasierung wird durch die Hilfekarte vorgegeben
Fokussieren auf wichtige Stellen	alle Hilfekarten	farbliche Markierung Kästchen um wichtige Passagen
Visualisieren von Inhalten	Hilfestapel zur Planung	Integration von Bildern der realen Experimentiermaterialien in den Text der Hilfekarten, um die getroffenen Auswahlentscheidungen zu verdeutlichen
Aktivieren von Vorwissen	Hilfestapel zu den Sinnabschnitten: Sicherung konfundiertes Experiment	Verweis auf Inhalte der vorherigen Themengebiete

Da keine festgelegte Reihenfolge für die Bearbeitung der Themengebiete vorlag, konnte die Funktion „Aktivierung von Vorwissen“ sich nur auf Inhalte eines Themengebietes beziehen und nicht übergreifend verwendet werden.

Musterlösung

Die letzte Hilfekarte eines Hilfestapels ist immer in Form einer Musterlösung gestaltet (Kap. 4.1.3; Abb. 7.10). Die Musterlösungen sollten alle S' uS, unabhängig davon, ob sie Hilfekarten verwendet haben oder nicht, nutzen. Die Entscheidung für die verpflichtende Nutzung wurde getroffen, um die zur Verfügung stehenden Informationen zwischen den beiden Interventionsgruppen möglichst parallel zu halten und so alle S' uS vor der Bearbeitung des nächsten Sinnabschnitts theoretisch auf denselben Stand zu bringen. Dadurch sollte vermieden werden, dass etwaige unterschiedliche Lernerfolge auf fehlende Informationen zurückgeführt werden können. Ob die S' uS allerdings nach dem Lesen der Musterlösung noch Korrekturen der bearbeiteten Aufgabe vornahmen, wurde ihnen freigestellt.

GM: Musterlösung: Begründung: <i>Suse findet Toms Idee nicht gut, weil er bei seiner Idee nicht sagen kann, woran es liegt, dass die Marmor schneller das Ende der Bahn erreicht: an der Höhe der Bahn oder an dem Boden der Bahn.</i> Genauere Erklärung: <i>Mit diesem Vergleich könnte Tom schon die erste Frage, ob der Boden der Bahn bestimmt, ob eine Marmor das Ende der Bahn erreicht, gar nicht beantworten. Um die Höhe und den Boden zu untersuchen, muss man zwei Vergleiche durchführen. In jedem Vergleich dürfen sich die Bahnen nur in einer Sache unterscheiden.</i> - Wollen sie den Boden der Bahn untersuchen, müssen sie unterschiedliche Böden aussuchen. Die Höhe der Bahnen und die Größe der Marmor müssen gleich sein. - Wollen sie die Höhe untersuchen, müssen sie unterschiedliche Höhen einstellen. Die Böden der Bahnen und die Größe der Marmor müssen gleich sein.
--

Abb. 7.10: Musterlösung zu dem Thema Marmorbahnen zum Sinnabschnitt „konfundiertes Experiment“

Die Musterlösung zerfällt bei den Sinnabschnitten „Planung Teil I und II“ und „konfundiertes Experiment“ in die Teile „Begründung“ und „Genauere Erklärung“ (vgl. Abb. 7.10)

Die „Begründung“ umfasst hierbei das, was die S' uS als Lösung der Aufgabe im Arbeitsheft festhalten sollten und ist durch einen Kasten besonders hervorgehoben. Im Teil „Genauere Erklärung“ werden den S' uS weitere Informationen gegeben, die im Dialog von Tom und Suse in den Lösungsbeispielen genannt wurden.

In den Sinnabschnitten zur „Sicherung“ wurde den S' uS durch die Musterlösung eine ausgefüllte Tabelle zum Vergleich mit ihrer Lösung angeboten.

Organisation der Hilfekarten

Alle Hilfekarten zu einem Arbeitsheft wurden in einer Karteikartenbox organisiert. Die Hilfestapel wurden darin durch Trennkarten voneinander separiert. Auf der Vorderseite jeder Hilfekarte findet sich ein zweistelliger Code. Die erste Stelle dieses Codes bezeichnet den zugehörige Hilfestapel (A-F), die zweite Stelle die Stufe der Hilfekarte (1-4 bzw. 5; vgl. Tab. 7.4). Die Musterlösung lag in einem unverschlossenen Briefumschlag an letzter Stelle des jeweiligen Hilfestapels. Durch den Briefumschlag sollte eine Hürde geschaffen werden, um ein zu frühes Verwenden der Musterlösung durch die S' uS zu verhindern.

Tab. 7.4: Nummerierung und Stufung der gestuften Lernhilfen. Der mit einem * markierte Sinnabschnitt wird nicht wiederholt, sondern nur einmal am Ende jedes Arbeitshefts durchlaufen.

Sinnabschnitt	Hilfekarten Set		Stufen der Hilfen; inklusive Musterlösung
	erster Durchlauf der Sinnabschnitte	zweiter Durchlauf der Sinnabschnitte	
Planung Festlegung UV & erste KV	A	D	5
Planung Festlegung zweite KV	B	E	4
Sicherung	C	F	4
konfundiertes Experiment*	G		5

Um die Nutzung der Hilfekarten zu erfassen, sollten die S' uS alle genutzten Hilfekarten in den Deckel der Karteikartenbox legen. Nach dem vollständigen Ausfüllen eines Arbeitshefts wurde von einer Hilfskraft festgehalten, welche Hilfekarten im Deckel der Karteikartenbox lagen. Zur doppelten Absicherung wurden die S' uS aufgefordert, unter jeder Aufgabe anzukreuzen, welche der zur Verfügung stehenden Hilfekarten von ihnen genutzt wurden. Die Hilfekarten können in Anhang A (Interventionsmaterial) eingesehen werden.

8 Testentwicklung

Um die Entwicklungs- und Forschungsfragen beantworten zu können, wurden in der ersten und zweiten Erhebung Instrumente zur Erfassung der Lernervoraussetzungen und ein VKS-Test im Prä-Post-Design eingesetzt. Die folgenden Kapitel beschreiben die eingesetzten Instrumente. Dabei wird an einigen Stellen auf Ergebnisse der beiden Pilotierungsstudien und der Hauptstudie verwiesen bzw. vorgegriffen. Eine nähere Beschreibung der Stichproben und des Ablaufs der Studie findet sich in Kap. 10. Alle eingesetzten Tests finden sich in Anlage B (Testinstrumente).

Bei den Instrumenten zur Erhebung des Selbstkonzepts (Kapitel 8.1), der Lesekompetenz (Kapitel 8.2) und der Selbstregulationskompetenz (Kapitel 8.3) handelt es sich um Instrumente, die bereits bestehen oder an bereits bestehende Instrumente angelehnt sind.

Der VKS-Test für diese Studie wurde auf Grundlage eines bestehenden Tests neu entwickelt, um ihn in der Grundschule einzusetzen. Da bisher keine Studien für den Einsatz eines solchen Tests in der Grundschule vorliegen, ist eine Validitätsprüfung des VKS-Tests notwendig. Diese Prüfung wird mithilfe eines Interpretations-Nutzungs-Arguments (INA) vorgenommen. Entwicklung, Beschreibung und INA zu dem VKS-Test finden sich in Kapitel 8.5.

8.1 Lesekompetenz

Wie in Kap. 4.2 beschrieben, kann angenommen werden, dass die Wirkung der eingesetzten Interventionsmaterialien mit der Lesekompetenz der S' uS korreliert. Um die Lesekompetenz zu erfassen, wurde der Test ELFE 1-6 (Lenhard & Schneider, 2006) eingesetzt. Bei diesem Test handelt es sich um einen Speedtest, der für den Einsatz von der ersten bis zur sechsten Jahrgangsstufe konzipiert ist. Der Test beinhaltet drei Subskalen (Wortverständnis, Satzverständnis und Leseverständnis) mit insgesamt 48 Items. Nach dem Einsatz des vollständigen Tests in der Pilotierung zeigte sich, dass aufgrund der Zeitökonomie eine Verkürzung des eingesetzten Tests angebracht war. Deshalb kamen für die Haupterhebung nur die Subskalen zu „Satzverständnis“ und „Leseverständnis“ in der Testung zum Einsatz. Diese Subskalen wurden ausgewählt, da in den zu bearbeitenden Texten der Interventi-

onsmaterialien vor allem Informationen aus Dialogen oder Hilfekarten entnommen werden müssen, wofür das Satz- und Leseverständnis als besonders wichtig eingeschätzt wurde.

Satzverständnis

In den Items dieser Subskalen sind durch die S' uS Sätze zu vervollständigen. Zur Vervollständigung ist aus einer Liste aus fünf Wörtern das passende zu unterstreichen (vgl. Abb. 8.1). Diese Subskala umfasst insgesamt 28 Items. Für die Beantwortung aller Items dieser Subskala stehen den S' uS der vierten Klasse drei Minuten zur Verfügung. Nach der Eingabe der Rohdaten in SPSS wurden die Antworten mittels eines Lösungsschlüssels automatisiert bepunktet. Pro Aufgabe wurde für die richtige Antwort ein Punkt vergeben.

Mit	Kopfhörern	kann man Musik hören.
	Gabeln	
	Hüten	
	Türen	
	Lampen	

Abb. 8.1: fiktives Beispielitem „Satzverständnis“, angelehnt an (Lenhard & Schneider, 2006); richtige Antwort in Fettdruck

Leseverständnis

In den Items dieser Subskala sind durch die S' uS Informationen aus kurzen Textpassagen zu entnehmen. Unter den Textpassagen findet sich ein Block oder finden sich mehrere Blöcke mit jeweils vier Aussagen zu der Textpassage. Aus jedem Block passt jeweils nur eine Aussage zu der vorliegenden Textpassage (Abb. 8.2). Diese Subskala umfasst 20 Items. Für die Beantwortung aller Items stehen den S' uS der vierten Klasse sieben Minuten zur Verfügung. Nach der Eingabe der Rohdaten in SPSS wurden die Antworten mittels eines Lösungsschlüssels automatisiert bepunktet. Pro Block wurde für die richtige Antwort ein Punkt vergeben.

Der Schäfer hat einen Hund, um seine Schafe zu beschützen.	
Hunde...	
☐ können Schafe beschützen.	☐ sind niedlich.
☐ können bellen.	☐ fressen Schafe.

Abb. 8.2: fiktives Beispielitem „Textverständnis“, angelehnt an (Lenhard & Schneider, 2006); richtige Antwort in Fettdruck

8.2 Selbstregulationskompetenz

Zu Erfassung der Selbstregulationskompetenz der S' uS wurde der „Fragebogen Selbst-reguliertes Lernen 7“ (FSL 7) von Ziegler et al. (2010) verwendet. Der Test ist für den Einsatz in der dritten (in Ausnahmefällen zweiten) bis zur zehnten Jahrgangsstufe konzipiert. Der Test besteht aus verschiedenen Subskalen. Jede Subskala stellt den S' uS kurz eine Situation vor. Darunter finden sich mehrere Facetten mit drei Antwortmöglichkeiten, von denen die S' uS jeweils die ankreuzen sollen, die am besten zu ihrem erwarteten Verhalten passt (Abb. 8.3). Diese Facetten sind so konzipiert, dass sie einem external regulierten, unreflektierten oder selbstregulierten Verhalten zuzuordnen sind. Um einer Verwechslungsgefahr mit Begrifflichkeiten zur Beschreibung der VKS vorzubeugen, wird im Weiteren der Begriff „Blöcke“ statt des Begriffes „Facetten“ verwendet.

Nun möchte der neue Lehrer wissen, wann seine Schüler beim Lernen nach Hilfe suchen. Entscheide in jeder Zeile, welche der drei Aussagen am besten zu dir passt. Wann suchst du dir Hilfe beim Lernen? Bitte kreuze nur eine Aussage pro Zeile an!		
Ich überlege nicht lange, ob ich Hilfe beim Lernen brauche. Das entscheide ich spontan.	Andere können mir am besten sagen, wann ich Hilfe beim Lernen brauche.	Ich überlege mir genau, ob ich wirklich Hilfe beim Lernen brauche oder nicht
☐	☐	☐

Abb. 8.3: Beispielitem aus der neu entwickelten Subskala „Inanspruchnahme von Hilfe“, angelehnt an (Ziegler et al., 2010)

Der ursprüngliche Test beinhaltet insgesamt vier unterschiedliche Subskalen („Lernen für die Schule“, „Vorbereitung auf die Schule in den Ferien“, „Vorbereitung auf eine Klas-

senarbeit“, „Nachholen von Unterrichtsstoff“). Zu jeder dieser Subskalen existieren sieben Blöcke. Jeder Block beinhaltet, wie beschrieben, eine „selbstregulierte“, eine „unreflektierte“ und eine „externalregulierte“ Antwort.

Von den ursprünglichen Subskalen wurden die Subskalen „Lernen für die Schule“ und „Vorbereiten für die Klassenarbeit“ eingesetzt. Diese wurden wiederum jeweils auf vier Blöcke begrenzt. Die beiden Subskalen und jeweiligen Blöcke wurden gewählt, da die S' uS mit diesen Situationen in ihrer bisherigen Schulzeit sehr wahrscheinlich konfrontiert wurden und so bei der Beantwortung auf eigene Erfahrungen zurückgreifen können.

Um eine möglichst gute Passung zu den in der Intervention zur Verfügung stehenden Hilfen zu gewährleisten, wurde eine weitere Subskala zu der Situation „Inanspruchnehmen von Hilfe“ entwickelt. Diese entspricht sprachlich den bereits vorhandenen Subskalen. Auf die anderen Skalen wurde aus zeitökonomischen Gründen verzichtet.

Nach der Eingabe der Rohdaten in SPSS wurden die Antworten mittels eines Antwortschlüssels automatisiert bepunktet. Dabei wurden für die selbstregulierte Antwort zwei Punkte, für die unreflektierte ein Punkt und null Punkte für die externe Antwort gegeben.

8.3 Selbstkonzept

Um das sachunterrichtsbezogene Selbstkonzept der S' uS zu erfassen, wurde ein sprachlich an den Sachunterricht angepasster Fragebogen nach Brell (2008, S. 225) verwendet (Abb. 8.4). In diesem Fragebogen sollten die S' uS ihre persönliche Einstellung zum Sachunterricht anhand von fünf Items auf einer jeweils vierstufigen Likert-Skala angeben.

Sachunterricht fällt mir leicht.			
Ja, stimmt	Meistens schon	Eigentlich eher weniger	Nein, stimmt nicht
☐	☐	☐	☐

Abb. 8.4: Beispielitem zur Erfassung des „Selbstkonzepts“, adaptiert nach Brell (2008, S. 225)

Nach der Eingabe der Rohdaten in SPSS wurden die Antworten mittels eines Antwortschlüssels automatisiert bepunktet. Für die Antwort „Nein, stimmt nicht“ wurden null Punkte, für die Antwort „Eigentlich eher weniger“ ein Punkt, für die Antwort „Meistens schon“ zwei Punkte und für die Antwort „Ja, stimmt“ drei Punkte vergeben.

8.4 Motivation und cognitive load

Im Theorieteil wurde beschrieben (vgl. Kap. 4), dass sowohl Lösungsbeispiele als auch gestufte Lernhilfen den Anspruch erheben, den cognitive load bei der Bearbeitung einer Aufgabe zu reduzieren. Außerdem soll das Arbeiten mit gestuften Lernhilfen motivierender sein als das Arbeiten mit Lösungsbeispielen (Kap. 4.1.4). Die diesen Aussagen zugrundeliegenden Studien beziehen sich allerdings auf die Sek I, weshalb diese Aussagen nicht ohne Weiteres auf die S' uS der Primarstufe übertragen werden können. Um mögliche Lerneffekte auf die Arbeit mit den jeweiligen Materialien zurückzuführen, muss überprüft werden, ob sich beide Materialien bzgl. Motivation und cognitive load gleichen.

Um ggf. solche Effekte zeigen zu können, wurde in jedem Arbeitsheft nach dem Bearbeiten der ersten Aufgabe zum Sinnabschnitt „Planung“ und am Ende jedes Arbeitsheftes ein Kurzfragebogen zur Erfassung der momentanen Motivation und der momentanen kognitiven Belastung eingesetzt (Abb. 8.5). Die Motivation wurde jeweils mit einem Item (Abb. 8.5 (1)) und die kognitive Belastung mit je zwei Items erhoben (Abb. 8.5 (2-3)). Die Items der kognitiven Belastung orientierten sich dabei, angelehnt an Dickmann (2016, S. 125), an Items von Paas (1992) und von Kalyuga, Chandler und Sweller (1999). Das Item zur Motivation wurde abgeleitet von einem Item des FAM-Tests (Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001).

Wie stark stimmst du den folgenden Sätzen im Moment zu? Kreuze an!

1.) Ich mag es, solche Aufgaben zu bearbeiten.

sehr gerne					sehr ungern
☐	☐	☐	☐	☐	☐

2.) Wie leicht oder schwer war zu verstehen, was du bei der Aufgabe zu tun hattest?

sehr leicht					sehr schwer
☐	☐	☐	☐	☐	☐

3.) Musstest du für die Lösung der Aufgabe insgesamt viel oder wenig nachdenken?

sehr wenig					sehr viel
☐	☐	☐	☐	☐	☐

Abb. 8.5: Items zur Erfassung der momentanen Motivation (1) und der momentanen kognitiven Belastung (2,3)

Nach der Eingabe der Rohdaten in SPSS wurden die Antworten mittels eines Antwortschlüssels automatisiert bepunktet. Dabei waren pro Item maximal 5 Punkte (sehr gerne; sehr leicht; sehr wenig), minimal 1 Punkt pro Item (sehr ungern; sehr schwer; sehr viel) möglich.

Somit konnte in einem Arbeitsheft maximal 20 Punkte auf der Skala kognitive Belastung und 10 Punkte auf der Skala Motivation erreicht werden.

8.5 VKS-Test

Im folgenden Kapitel wird der eingesetzte VKS-Test beschrieben. Mithilfe dieses Tests sollen die von Schwichow (2015, S. 56) beschriebenen Facetten der VKS, ergänzt um die Facette „Auswahl und Variation“, erfasst werden (vgl. Abb. 7.1). Um alle genannten Facetten zu erfassen, sollte der eingesetzte Test sowohl schriftliche als auch hands-on Items beinhalten. Hierdurch soll der von Schwichow (2015, S. 61–62) beschriebenen Problematik bei der Erfassung der Facette „Planung“ mit multiple-choice Items entgegengewirkt werden.

Ebenfalls sollte der Test eine Passung zu dem eingesetzten Interventionsmaterial aufweisen.

In der Literatur finden sich diverse Tests zur Erhebung der VKS. Viele Tests sind für den Einsatz in der Sek I konzipiert (Schwichow, 2015; Vorholzer et al., 2016), was in der vierten Klasse, ohne vorherige Überarbeitung, zu Verständnisproblemen führen könnte. Andere Tests umfassen keine hands-on Items, konnten aufgrund ihres Erscheinungsdatums nicht mehr zur Itemgenerierung genutzt werden (Bohrmann, 2017; Brandenburger et al., 2022) oder deckten nicht die gewünschten Themengebiete ab (Bullock & Sodian, 2003; Chen & Klahr, 1999).

Da die Erfassung des Verständnisses der VKS basierend auf den Facetten geschehen sollte, wurde ein VKS-Test für die Grundschule in Anlehnung an den Test von Schwichow (2015) neu konzipiert. Obwohl dieser Test für den Einsatz in der Sek I zu anderen Themengebieten entwickelt wurde, ermöglicht seine Struktur leicht eine Anpassung an die geforderten Inhalte und eine an die vierte Klasse entsprechende sprachliche Umgestaltung.

Zusätzlich zu den aus dem Test bekannten Itemstrukturen wurden, neben schriftlichen Items, auch hands-on Items entwickelt.

Obwohl zur Erfassung der unterschiedlichen Facetten der VKS verschiedene Items entwickelt wurden, erhebt dieser Test nicht den Anspruch, diese getrennt voneinander zu erfassen, sondern erhebt die VKS-bezogenen Fähigkeiten als ein Gesamtkonstrukt.

Bei einem neu entwickelten Test kann nicht a priori gewährleistet werden, dass dieser den aktuellen Standards der Testentwicklung (American Educational Research Association, American Psychological Association & National Council on Measurement in Education, 2014, S. 9) genügt. Auch im Hinblick auf den Einsatz von hands-on Teilen im VKS-Test ist die Frage der Validität des Test zu beantworten (Schreiber & Gut, 2022). Nach den oben erwähnten Standards der Testentwicklung ist zunächst festzulegen, wie die Testwerte interpretiert werden sollen. Diese Festlegung wird im Folgenden als Ziel der Testentwicklung bezeichnet. An

diesem Ziel setzt dann eine Argumentationskette an, mithilfe derer ausgearbeitet wird, dass mit den erhobenen Testwerten auch das Ziel der Testentwicklung erreicht werden kann.

Diese Argumentationskette soll in der Arbeit anhand der Idee des Interpretations-Nutzungs-Arguments (INA), basierend auf Arbeiten von Kane (z.B. Kane, 2013), vollzogen werden.

Wie oben beschrieben, steht am Anfang einer INA die Definition des Ziels der Testentwicklung.

Ziel des eingesetzten VKS-Tests ist die Erfassung von VKS-bezogenen Fähigkeiten der S' uS in der Grundschule. Diese sollen dazu genutzt werden, durch Vergleich der Testwerte aus Prä- und Posttest, einen mittleren Lernzuwachs über den Zeitraum der Interventionsdauer zu ermitteln.

8.5.1 Interpretation-Nutzungs-Argument

Im Folgenden wird die Entwicklung und Prüfung der Validität des eingesetzten VKS-Tests in Form eines Interpretations-Nutzungs-Arguments (INA) beschrieben. Die zu durchlaufenden Schritte der INA sind in Abb. 8.6 dargestellt.

Hier sei angemerkt, dass die hier dargestellte INA nicht als Standard für alle möglichen Testinstrumente eingesetzt werden kann. Vielmehr bedarf es bei der Konzeption einer INA einer Anpassung der Argumentation an das jeweilige Ziel bei der Testwertinterpretation (vgl. Meinhardt, Rabe & Krey, 2018, S. 134). Die Darstellung in Abb. 8.6 orientiert sich an der Darstellung der INA von Dickmann (2016, S. 75).

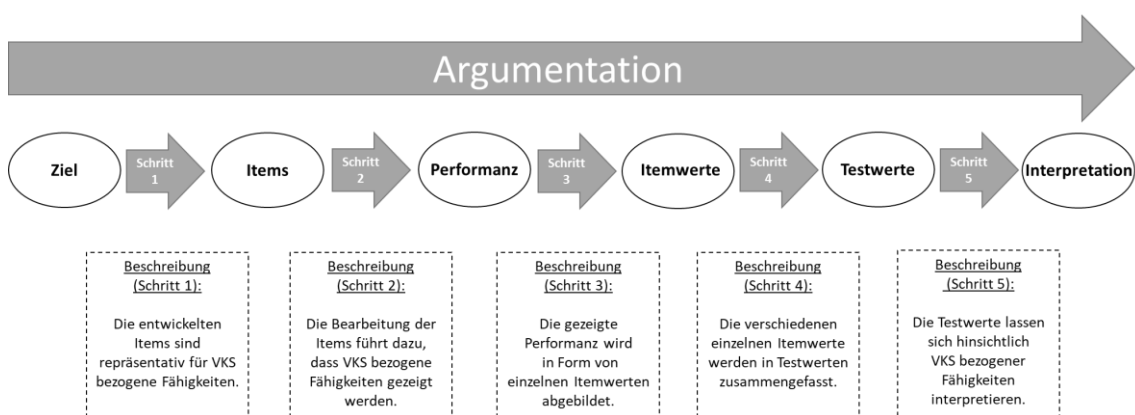


Abb. 8.6: Bildhafte Darstellung der dieser Arbeit zugrundeliegenden INA zur Prüfung des neuentwickelten VKS-Tests mit Beschreibung der vollzogenen Schritte

Schritt 1 des INA (Abb. 8.6)

„Die entwickelten Items sind repräsentativ für VKS-bezogene Fähigkeiten.“

Der erste Schritt führt von dem festgelegten Ziel der Testentwicklung zu den im Test eingesetzten Items. In diesem Schritt der „Itementwicklung“ sollen, ausgehend von Modellen, Items abgeleitet bzw. entwickelt werden. Hier muss auf eine besondere Passung zwischen dem Modell und den Items geachtet werden.

Grundlage für die Entwicklung des Tests ist das erweiterte Modell der VKS nach Schwichow (2015, S. 56) (vgl. Abb. 7.1). Dementsprechend sollten sich alle dort beschriebenen Facetten auch in dem Test wiederfinden. So umfasst bspw. die Facette „Identifikation“ die Fähigkeit, VKS-konforme Experimente aus einer Vielzahl von möglichen Experimenten auszuwählen. Dies wurde realisiert, indem den S^uS verschiedene Experimente präsentiert wurden, und sie daraus zu einer gegebenen Fragestellung passende Experimente auswählen sollten (vgl. Abb. 8.7(links)).

Auf diese Weise konnten zur Erfassung der verschiedenen Facetten unterschiedliche Itemtypen entwickelt werden. Tab. 8.1 zeigt die Zuordnung der Facetten zu den verschiedenen Itemtypen (eine genauere Beschreibung der Itemtypen findet sich im Folgenden). Die eingesetzten Items der Haupterhebung zeigt Anhang C (Testleitermanuale).

Tab. 8.1. Zuordnung Item-Facette

Facette	Schriftlich I	Schriftlich IIa	Schriftlich IIb	hands-on
Planung				X
Identifikation	X			
Interpretation		X		
Verständnis		X		
Variation & Auswahl	X		X	X

Zur Erfassung der Facetten „Identifikation“ sowie „Interpretation und Verständnis“ wurden in Anlehnung an Schwichow (2015, S. 61) multiple-choice Items entwickelt. Dieses Format eignet sich nach Schwichow (2015, S. 65) nicht zur Erfassung der „Planung“. Stattdessen sollte die Planung nach Schwichow (2015, S. 65)

durch hands-on Items erfasst werden. Diesem Vorgehen wurde bei der Testentwicklung entsprochen. Da es, wie oben beschrieben, für das Verständnis der VKS grundlegend ist, dass die UV variiert wird, findet sich die neu aufgenommene Facette „Auswahl und Variation“ sowohl im schriftlichen als auch im hands-on Teil. Bei der Itementwicklung wurden die Items, soweit wie möglich, nach dem Test für VKS-bezogene Fähigkeiten nach Schwichow (2015) adaptiert. So sollte erreicht werden, dass die Items möglichst repräsentativ für VKS-bezogene Fähigkeiten sind.

Zunächst wurden schriftliche Items zu vier Themengebieten (Murmelbahn, Schaukeln, Federn und Stromkreise) entwickelt (die Gestaltung der Items wird in Kap. 8.5 beschrieben).

Diese Auswahl an Themengebieten wurde getroffen, um sowohl Inhalte zu in der Intervention behandelten Themengebieten (z.B. Murmelbahnen) abzufragen als auch zu einem nicht in der Intervention behandelten Themengebiet (Stromkreise). Es wurde bei der Entwicklung darauf geachtet, die Gestaltung der Items, unabhängig von den Themengebieten, gleich zu halten, um in der späteren Testung Unterschiede in der Bearbeitungsqualität aufgrund des Layouts ausschließen zu können. Ebenfalls wurde darauf geachtet, durch einen möglichst geringen Leseanteil und unter Verwendung einfacher Sprache den Test weitgehend grundschulgerecht zu gestalten.

Die entwickelten schriftlichen Items wurden in einer Pilotierungsstudie (Pilotierung I) mit 81 S' uS in einer dritten Klasse eingesetzt (Viefers, Theyßen & Schreiber, 2018). Von diesen S' uS konnten 56 vollständige Datensätze gewonnen werden. Ziel der Pilotierung war, Kenntnisse über die Logistik der Intervention und die Qualität der entwickelten Items zu gewinnen. Da aus zeitökonomischen Gründen es nicht möglich war, alle S' uS alle entwickelten Items bearbeiten zu lassen, erfolgte eine Aufteilung der S' uS in zwei Gruppen, die unterschiedliche Versionen des Testhefts bearbeiteten. Die Aufteilung der Items auf die unterschiedlichen Gruppen ist Tab. 8.2 zu entnehmen.

Tab. 8.2: Verteilung der Themen auf Testhefte (x: in Testheft enthalten); (Viefers et al., 2018)

Thema	Testheft A	Testheft B
Schaukeln	X	X
Stromkreise	X	X
Murmelbahnen	X	Nicht vorhanden
Federn	Nicht vorhanden	X

Im eingesetzten VKS-Test zeigten sich keine Boden- oder Deckeneffekte. Eine Reliabilitätsanalyse der Items des VKS-Tests zeigte sowohl im Prä- als auch im Posttest zufriedenstellende Ergebnisse (erste Erhebung: $\alpha > .78$ / zweite Erhebung: $\alpha > .87$). Da eine zufriedenstellende Reliabilität bereits bei einer Auswahl von Items gegeben war, wurde der VKS-Test für die geplante Hauptstudie auf die Items zu den Themen Murmelbahnen und Stromkreise beschränkt. Damit enthielt die finale Testversion schriftliche Items zum Thema Murmelbahn (Inhalt der Intervention) und zum Thema Stromkreise (kein Inhalt der Intervention).

Der schriftliche Teil des finalen Tests umfasst damit jeweils sechs Items zu den Themen Murmelbahnen und Stromkreise, also insgesamt 12 schriftliche Items, wobei zwei Itemtypen unterschieden werden (schriftlich I und II). Zu beiden Themengebieten wurden jeweils drei hands-on Items entwickelt (Abb. 8.8). Damit umfasst der gesamte Test 18 Items (12 schriftliche, 6 hands-on).

Dieser vollständige Test wurde nochmals in einer Pilotierungsstudie (Pilotierung II) eingesetzt (Viefers et al., 2018). Diese Stichprobe umfasste dieselben S' uS wie in Pilotierung I. Die S' uS besuchten mittlerweile die vierte Klasse. Wiederum betrug die Stichprobengröße 81 S' uS, von denen 65 mit vollständigen Datensätzen in die Analyse aufgenommen wurden.

Auch mit dem Einsatz der ausgewählten schriftlichen Items und der hands-on Items zeigten sich in der zweiten Pilotierung, wie in der ersten Pilotierung, keine Boden- oder Deckeneffekte. Auch die Reliabilität des VKS-Tests zeigte zufriedenstellende Werte $\alpha = .86$ (schriftlich: $\alpha = .87$; hands-on: $\alpha = .72$). Aus diesem Grund wurde entschieden, den Test ohne weitere Modifikationen in der Hauptstudie einzusetzen.

Bevor die nächsten Schritte des INAs dargestellt werden, erfolgt im folgenden Einschub die Vorstellung von Beispielitems aus dem VKS-Test und die Erläuterung deren Zuordnung zu den unterschiedlichen Facetten.

Schriftlicher Teil des VKS-Tests

Es wurden zwei schriftliche Itemtypen im multiple-choice Format entwickelt. Im Zuge der Standardisierung umfasst jedes Item einen Itemstamm, in dem den S' uS die Fragestellung und die Antwortmöglichkeiten präsentiert werden (Abb. 8.7 Abschnitt [1]). Für jedes Item existieren vier Antwortmöglichkeiten, drei Distraktoren und eine richtige Antwort. (Abb. 8.7 Abschnitt [2]). Als letzten Punkt umfasst jedes Item ein Feld, in dem die S' uS angeben können, wie sicher sie sich bei der Antwort sind (Abb. 8.7 Abschnitt [3]). Hierdurch soll den S' uS verdeutlicht werden, dass es sich bei dem Fragebogen nicht um einen Test oder eine Prüfung handelt, um einer etwaigen Beeinflussung durch Prüfungsängste entgegenzuwirken. Unterschiede zwischen den Itemtypen finden sich im Layout und in den erfragten Inhalten (Abb. 8.7 [links/rechts]).

1		2		3
Suse und Tom wollen herausfinden: Bestimmt die Höhe der Bahn, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht? Welchen Vergleich müssen sie durchführen, um Ihre Frage zu beantworten? Kreuze die richtige Antwort an!				
☐				
☐				
☐				
☐				
Was zeigt der Vergleich? Kreuze die richtige Antwort an, die zu diesen Beobachtungen passt!				
☐	Die Höhe der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.			
☐	Der Boden der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.			
☐	Die Größe der Murmel bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.			
☐	Suse und Tom können bei diesem Vergleich nichts davon feststellen.			
Ich bin mir ziemlich ☐ sicher oder ☐ unsicher.				

Abb. 8.7: Beispiele für schriftliche Items; schriftlich Typ I (links); schriftlich Typ II (rechts) jeweils gegliedert in drei Abschnitte

Schriftlich Typ I

Mit diesem Itemtyp (Abb. 8.7 [links]) soll die Facette „Identifikation“ untersucht werden. Um diese Facette zu erfassen, sollen S' uS aus vier Experimenten dasjenige auswählen, das ihrer Meinung nach zur Untersuchung der im Itemstamm genannten UV geeignet ist. Neben der richtigen Antwort werden folgende Distraktoren in allen Items dieses Typs gezeigt:

- einfach konfundiertes Experiment,
- zweifach konfundiertes Experiment,
- Experiment, in dem eine andere als die erfragte UV untersucht wird.

Die korrekte Beantwortung erfordert einen Vergleich der gezeigten Bedingungen der Experimente hinsichtlich der passenden Variation der UV und der Ausprägung der KVen (Facette: Identifikation). So können die Distraktoren erkannt und das passende Experiment kann ausgewählt werden. Da hierfür auch das Verständnis vorhanden sein muss, dass eine Variation der UV nötig ist, bezieht dieser Itemtyp auch die Facette „Variation und Auswahl“ mit ein (vgl. Abb. 7.1).

Schriftlich Typ II

In diesem Itemtyp (Abb. 8.7 [rechts]) wird ein Experiment während der Durchführung gezeigt. Die hierbei möglichen Beobachtungen (z.B. Marmelbahn: Wie weit ist die Marmel nach kurzer Zeit gerollt? Stromkreis: Wie hell leuchtet die Lampe?) sollen von den S' uS interpretiert werden.

Es existieren vier Antwortmöglichkeiten:

- 1-3: Es kann eine Aussage über den Einfluss einer Variablen (z.B. Höhe der Bahn, Beschaffenheit des Bodens oder Größe der Marmel) getroffen werden.
- 4: Es kann keine Aussage getroffen werden.

Je nachdem, welche Zusammensetzung von Bedingungen das jeweilige Item zeigt, ist eine andere Antwort richtig. Des Weiteren ergibt sich aufgrund der gezeigten Bedingungen auch, welche Facette der VKS durch das Item erfasst werden soll.

Auf Grundlage der erfassten Facetten lässt sich dieser Itemtyp weiter unterteilen (schriftlich IIa und schriftlich IIb).

Schriftlich IIa

Von diesem Typ existierten zwei Items je Themengebiet. Mit diesem Itemtyp sollen die Facetten „Interpretation“ und „Verständnis“ erfasst werden. Die Facette „Interpretation“ erfordert, dass das Ergebnis eines Experiments durch die S‘ uS interpretiert wird. Für die Facette „Verständnis“ müssen S‘ uS erkennen, dass ein Experiment konfundiert ist und deshalb hieraus keine Schlussfolgerungen gezogen werden können. Um dies in dem Itemtyp umzusetzen, erfolgte die Darstellung der Experimente während der Durchführung:

- Ein variablenkontrolliertes Experiment, bei dem die Beobachtung auf eine der angegebenen Variablen zurückgeführt werden kann (z.B. UV: Höhe der Bahn, KV alle gleich).
- Ein einfach konfundiertes Experiment., bei dem kein Schluss gezogen werden kann (z.B. UV: Höhe der Bahn, eine KV gleich eine KV unterschiedlich).

Um die richtige Antwort auszuwählen, müssen die S‘ uS erkennen, ob überhaupt ein Experiment durchgeführt wurde, das den Regeln der VKS folgt und aus dem Schlussfolgerungen gezogen werden können oder ob es sich um ein konfundiertes Experiment handelt, das keine Schlussfolgerungen zulässt (Facette: Verständnis). Entspricht das gezeigte Experiment den Regeln der VKS, müssen die S‘ uS die UV des Experiments erfassen und dementsprechend die richtige Schlussfolgerung ziehen (Facette: Interpretation).

Schriftlich IIb

Von diesem Itemtyp existiert ein Item je Themengebiet. Mit diesem Itemtyp soll die Facette „Variation und Auswahl“ erfasst werden. Hierzu müssen die S‘ uS erkennen, dass zur Untersuchung einer UV diese auch zwischen den beiden Bedingungen eines Experiments variiert werden muss. Um dies in dem Itemtyp umzusetzen, wurde den S‘ uS folgendes Experiment während der Durchführung gezeigt:

- Ein Experiment, in dem die beiden Bedingungen exakt gleich aufgebaut sind und keine Variable variiert wird (z.B. zweimal hohe Murmelbahn mit glattem Boden und großer Murmel).

Um die richtige Antwort auszuwählen, müssen die S' uS erkennen, dass aufgrund der fehlenden Variation der UV bei zwei identischen Bedingungen keine Schlussfolgerungen möglich sind (Facette: Auswahl und Variation).

hands-on Items

Mit diesem Itemtyp soll die Facette „Planung“ erfasst werden. Dazu müssen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, inwieweit die S' uS in der Lage sind, aufgrund einer vorgegebenen Fragestellung, ein passendes Experiment aufzubauen (Abb. 8.8 [oben]). Um dies im Test umzusetzen, wurde den S' uS eine Bedingung eines Experiments präsentiert. Sie erhielten dazu die Aufgabe, die zweite Bedingung des Experiments zur Untersuchung einer vorgegebenen UV aufzubauen. Hierfür erhielten die S' uS eine Auswahl an Experimentiermaterialien (Abb. 8.8 [unten]). Nur eine Kombination der vorgegebenen Materialien führt zu einer Bedingung, die sich für die Untersuchung der Fragestellung eignet. Die nicht passenden Materialien werden hier als Distraktoren betrachtet.

Suse und Tom vermuten:

„Der Boden der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht.“

Sie möchten ihre Vermutung mit einem Vergleich überprüfen. Eine Murmelbahn haben sie schon aufgebaut.

Aufgabe:

 **Hilf Tom und Suse!**
Baue den Vergleich vollständig auf. Nutze die Materialien aus der Box! Führe dann den Vergleich durch!

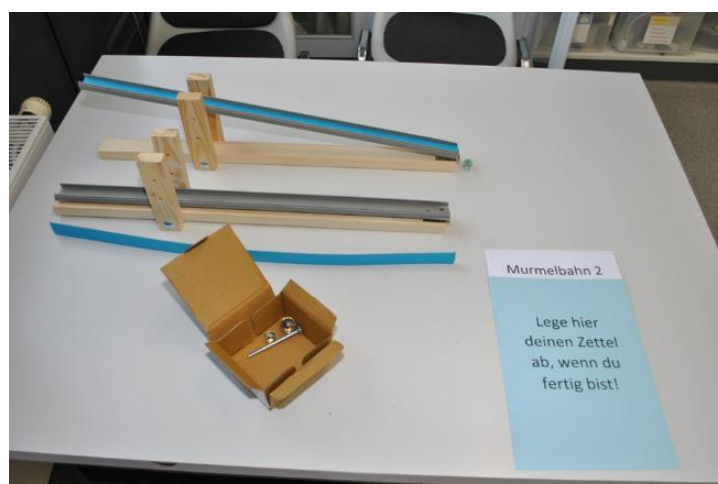


Abb. 8.8 : Beispiel für hands-on Item (oben: Item; unten zu Verfügung stehendes Material)

Wenn die S' uS die „Planung“ eines VKS Experiments beherrschen, sollten sie in der Lage sein, aus den zur Verfügung stehenden Materialien eine passende Bedingung aufzubauen.

Dafür ist es nötig, dass die S' uS die UV variieren. Damit ist neben der Facette „Planung“ auch die Facette „Variation und Auswahl“ mit diesem Item verknüpft. Obwohl die explizite Durchführung und Auswertung eines Experiments nicht in der Facette „Planung“ verortet sind, wurde es den S' uS dennoch ermöglicht, das Experiment durchzuführen und ihre Ergebnisse auf einem gesonderten „Laufzettel“ festzuhalten (Abb. 8.9). Zusätzlich konnte diesem „Laufzettel“ entnommen werden, in welcher Reihenfolge die Experimente von der Schülerin oder dem Schüler bearbeitet werden sollte. Dieser Weg wurde gewählt, da es unlogisch und demotivierend erschien, ein Experiment aufzubauen, es dann aber nicht durchzuführen. Ebenfalls konnten die S' uS auf dem Ergebnisblatt, analog zu den schriftlichen Items, angeben, wie sicher sie sich ihrer Antwort waren.

Murmelbahn 2

Kreuze an: Ich bin mir ziemlich ☐ **sicher** oder ☐ **unsicher**, dass ich mit meinem Vergleich die Vermutung untersuchen kann

„Der Boden der Bahn bestimmt, wie schnell eine Murmel das Ende der Bahn erreicht“.

Kreuze deine Beobachtung an!	
☐	Auf meiner Murmelbahn ist die Murmel zuerst angekommen .
☐	Auf beiden Murmelbahnen sind die Murmeln gleichzeitig angekommen .
☐	Auf meiner Murmelbahn ist die Murmel zuletzt angekommen .

Abb. 8.9: Auszug des Laufzettels

Insgesamt wurden sechs Items dieses Typs, drei je Themengebiet, entwickelt.

Schritt 2 des INA (Abb. 8.6)

„Die Bearbeitung der Items führt dazu, dass VKS bezogene-Fähigkeiten gezeigt werden.“

Der zweite Schritt führt von den entwickelten Items zu der Performanz der S' uS. Es ist zu prüfen, ob die Bearbeitung der entwickelten Items zu der für die Erreichung des Ziels notwendigen Performanz führt.

Mit dem entwickelten VKS-Test sollen VKS-bezogene Fähigkeiten erhoben werden. Unter der zu prüfenden Performanz wird somit verstanden, dass die Bearbeitung des Tests VKS-bezogene Fähigkeiten adressiert. Eine Möglichkeit zur Prüfung besteht darin, die Denkprozesse der S' uS bei der Bearbeitung des Tests zu

erfassen. Solche Denkprozesse wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit qualitativ mit der Methode lautes Denken untersucht (Schneider, 2018).

Hierzu untersuchte ebd. eine Stichprobe von 11 S' uS einer vierten Klasse. Diese S' uS bearbeiteten mit der Methode des lauten Denkens eine reduzierte Version des VKS-Tests, der sowohl schriftliche als auch hands-on Items beinhaltete. Um sicherzustellen, dass die S' uS auch Wissen über die VKS besitzen, dass sie bei der Methode verbalisieren können, bearbeiteten sie im Vorhinein Interventionsmaterialien aus der Hauptstudie. Die Aussagen der S' uS bei der Bearbeitung des VKS-Tests wurden anschließend mithilfe eines Kodierleitfadens bezüglich konstruktrelevanter Aussagen bewertet.

Schneider (2018) konnte insgesamt zeigen, dass bei der Bearbeitung aller drei Itemtypen sowohl bezüglich bekannter Kontexte (Murmelbahn) als auch unbekannter Kontexte (Stromkreise) konstruktrelevante Aussagen durch die S' uS getätigt wurden. Allerdings schwankte der Anteil solcher Aussagen in Abhängigkeit von den bearbeiteten Itemtypen. So zeigte Schneider (2018), dass bei der Bearbeitung der hands-on Items (Abb. 8.8) die meisten konstruktrelevanten Aussagen durch die S' uS getätigt wurden. Die geringste Anzahl solcher Aussagen wurden bei der Bearbeitung von Items des Typs schriftlich II (Abb. 8.7 rechts) getätigt. Da bei der Bearbeitung aller Items konstruktrelevante Aussagen getroffen wurden, kann dies als ein Indikator dafür gesehen werden, dass die Bearbeitung der eingesetzten Items dazu führt, dass VKS-bezogene Fähigkeiten gezeigt werden können.

Um zu gewährleisten, dass alle S' uS dieselben Voraussetzungen haben, um Performanz zu zeigen, muss auf eine objektive Durchführung des Tests geachtet werden. Sowohl der schriftliche Teil als auch der hands-on Teil des VKS-Tests wurden deshalb anhand eines standardisierten Testleitermanuals durchgeführt. Damit sollte gewährleistet werden, dass alle S' uS über dieselben Informationen verfügen. Die jeweiligen Testleiterinnen und Testleiter erhielten des Weiteren die Anweisung, keine inhaltlichen Fragen zu beantworten. Die verwendeten Testleitermanuals findet sich in Anhang C (Testleitermanuals).

Schritt 3 des INA (Abb. 8.6)

„Die gezeigte Performanz wird in Form von einzelnen Itemwerten abgebildet.“

In diesem Schritt sollen die Antworten der S' uS in entsprechende Itemwerte überführt werden. Dazu wurden zunächst die Rohdaten in SPSS eingegeben. Dies bedeutet bei den schriftlichen Items, dass kodiert wurde, welche Antwort angekreuzt wurde (Kodierung: 1) und welche nicht (Kodierung: 0).

Zur Auswertung der hands-on Items wurde kodiert, welche Ausprägung der jeweiligen Variablen in der von den S' uS aufgebauten Bedingung gewählt wurde (Kodierung: 1) und welche nicht (Kodierung: 0). Die Auswahl der im hands-on Teil verwendeten Materialien konnte einem standardisierten Auswertungsbogen, der durch die Testleiterinnen und Testleiter während der Testung für jede Schülerin und jeden Schüler ausgefüllt wurde, entnommen werden. Zur weiteren Absicherung wurden die aufgebauten Experimente fotografiert, um im Nachhinein bei Unklarheiten die Bögen überprüfen zu können. Zur Prüfung der Objektivität der Eingaben wurde ein Teil doppelt kodiert.

Nach der Eingabe der Rohdaten in SPSS wurden die Antworten mittels eines Antwortschlüssels automatisiert bepunktet. Für jede richtige Antwort bzw. jede richtig aufgebaute zweite Bedingung wurde ein Punkt vergeben. Für falsche Antworten, fehlende Antworten oder mehrere Antworten wurde kein Punkt vergeben. Teilweise richtig aufgebaute Experimente wurden ebenfalls mit 0 Punkten bewertet.

Um eine solche Bepunktung zu ermöglichen, muss eine eindeutig richtige Antwort bzw. ein eindeutig richtiger Aufbau klar von falschen zu unterscheiden sein. Um dies zu gewährleisten, wurde die Eindeutigkeit bei den Formulierungen und den Auswahlmöglichkeiten bereits bei der Erstellung der Items mitbedacht und durch andere Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker geprüft.

Schritt 4 des INA (Abb. 8.6)

„Die verschiedenen einzelnen Itemwerte werden in Testwerten zusammengefasst.“

In diesem Schritt sollen aus den einzelnen Itemwerten der S' uS Testwerte ermittelt werden. Jede Schülerin und jedem Schüler soll ein einzelner Testwert aufgrund der von ihr bzw. ihm erreichten Itemwerte zugeordnet werden. Diese Testwerte bilden die Grundlage für die spätere Auswertung. Hierzu wurden die einzelnen Itemwerte automatisiert addiert und so eine Gesamtpunktzahl ermittelt. Maximal

können 18 Punkte erreicht werden. Die Gesamtpunktzahl wurde dann in Anteile überführt. Damit liegen die endgültigen Testwerte zwischen 0 und 1.

Die Werte der Reliabilität bewegten sich sowohl in der ersten Erhebung mit Cronbachs $\alpha = .844$ als auch in der zweiten Erhebung mit Cronbachs $\alpha = .923$ im guten bis exzellenten Bereich (vgl. Blanz, 2015, S. 256). Ebenfalls zeigt sich, dass der Test sowohl Items mit niedrigen als auch mit höheren Trennschärfen aufweist, was darauf hindeutet, dass der Test weder als zu leicht noch als zu schwer einzustufen ist. Auffällig ist, dass in der ersten Erhebung bei zwei Items Trennschärfen unter dem Schwellenwert von .3 (vgl. Blanz, 2015, S. 245) auftreten. Diese Items wurden nicht verändert, da die niedrigen Trennschärfen in der ersten Erhebung wahrscheinlich auf eine noch hohe Ratewahrscheinlichkeit zurückgeführt werden können und die Trennschärfen in der zweiten Erhebung oberhalb des Schwellenwerts lagen. In Tab. 8.3 finden sich zu allen eingesetzten Items die Trennschärfen und Lösungswahrscheinlichkeiten.

Tab. 8.3. Übersicht: Trennschärfen und Lösungswahrscheinlichkeiten des in der ersten und zweiten Erhebung eingesetzten VKS-Tests

Item	erste Erhebung		zweite Erhebung	
	Trennschärfe	Lösungswahrscheinlichkeit	Trennschärfe	Lösungswahrscheinlichkeit
schrift. I Strom 1	.25	.31	.62	.66
schrift. I Strom 2	.40	.48	.61	.67
schrift. I Strom 3	.51	.43	.61	.63
schrift. IIa Strom 1	.52	.54	.58	.72
schrift. IIb Strom 1	.45	.43	.63	.61
schrift. IIa Strom 2	.20	.06	.64	.36
schrift. I Murmel 1	.56	.45	.65	.70
schrift. I Murmel 2	.51	.51	.51	.59
schrift. I Murmel 3	.47	.61	.65	.71
schrift. IIb Murmel 1	.55	.40	.65	.58
schrift. IIa Murmel 2	.46	.11	.63	.37
schrift. IIa Murmel 1	.29	.68	.35	.79
hands-on Strom 1	.34	.32	.51	.57
hands-on Strom 2	.41	.36	.57	.56
hands-on Strom 3	.51	.33	.67	.59
hands-on Murmel 1	.57	.31	.77	.64
hands-on Murmel 2	.45	.42	.62	.70
hands-on Murmel 3	.47	.45	.64	.71

Schritt 5 des INA (Abb. 8.6)

„Die Testwerte lassen sich hinsichtlich VKS bezogener Fähigkeiten interpretieren.“

In diesem Schritt soll geprüft werden, inwieweit sich die Testwerte als Ausdruck der VKS-bezogenen Fähigkeiten interpretieren lassen. Eine Möglichkeit dazu besteht darin zu prüfen, ob die Ergebnisse des eingesetzten Tests mit Ergebnissen anderer Tests zur Erhebung der VKS in der Grundschule korrelieren. Ein solcher Vergleich wurde im Zuge einer Masterarbeit (vgl. Eversberg, 2018) durchgeführt. Als Vergleichstest wählte ebd. den in Kap. 3.3 beschriebenen Test von Bohrmann (2017). Eversberg (2018) zog 15 Items aus dem Test von Bohrmann (2017) für den Vergleich mit dem in dieser Arbeit vorgestellten VKS- Test (Kap. 8.5) heran.

Es konnten insgesamt 54 S' uS aus dritten und vierten Klassen für den Vergleich gewonnen werden. Alle S' uS bearbeiteten sowohl den Test von Bohrmann (2017) als auch den für diese Studie entwickelten VKS-Test. Da der Test von Bohrmann (2017) sich auf schriftliche Items begrenzt, wurden für den Vergleich nur die schriftlichen Items aus dem VKS-Tests dieser Studie bearbeitet. Für den Vergleich der beiden Tests konnte eine Korrelation von $r = .38$ festgestellt werden (Eversberg, 2018).

Bei dieser Korrelation liegt der Wert im mittleren Bereich (Bühner & Ziegler, 2009, S. 603). Dies kann als ein Hinweis dafür gesehen werden, dass durch beide Tests ähnliche Konstrukte gemessen werden. Dies wiederum deutet darauf hin, dass die Testwerte des für diese Arbeit entwickelten VKS-Tests hinsichtlich VKS bezogener Fähigkeiten interpretiert werden können.

8.5.2 Abschließende Betrachtung des INA

Um eine Aussage darüber zu treffen, inwieweit die ermittelten Testwerte geeignet sind, Aussagen zu VKS-bezogenen Fähigkeiten zu treffen, muss das INA kritisch betrachtet werden.

Im ersten Schritt kann die Aussage, dass die Items repräsentativ für Items zur Erfassung VKS bezogener Fähigkeiten sind, dadurch gestützt zu werden, dass die Items sich stark an dem zugrundeliegenden Modell und Test nach Schwichow (2015) orientieren und sowohl schriftliche als auch hands-on Items eingesetzt werden, um die verschiedenen Facetten des Modells zu erfassen. Kritisch kann gesehen werden, dass die einzelnen Facetten nicht trennscharf voneinander abgebildet werden, was aber auch nicht Ziel dieser Studie ist.

Ebenfalls scheint die Bearbeitung der Items zu ermöglichen, dass die gewünschte Performanz gezeigt werden kann. Hinweise darauf liefert die beschriebene Bachelorarbeit von Schneider (2018). In dieser Bachelorarbeit wurde der Test nach einer kurzen Einführung in das Thema VKS eingesetzt. Diese Abfolge könnte dazu geführt haben, dass VKS bezogene Denkprozesse im Vorhinein forciert wurden, und so die Denkprozesse während des Tests beeinflussten. Es wäre wünschenswert, eine solche Studie erneut ohne vorherige Einführung durchzuführen, um zu untersuchen, ob allein durch die Testbearbeitung konstruktbezogene Überlegungen angestellt werden.

Die standardisierte Übertragung der Rohwerte der gezeigten Performanz in Itemwerte sowie der Itemwerte in Testwerte anhand von Lösungsschlüsseln kann als

Stütze der Schritte vier und fünf gesehen werden. Die zufriedenstellenden Trennschärfen, Lösungswahrscheinlichkeiten und Reliabilitäten sprechen für die Überführung der Itemwerte in die Testwerte und für die Güte des Tests.

Durch die gezeigte Korrelation des entwickelten Tests mit dem VKS-Test nach Bohrmann (2017) konnte gezeigt werden, dass die Testwerte im Sinne von VKS-bezogenen Fähigkeiten interpretiert werden können. Eine Schwäche dieses Vergleichs stellt dar, dass der Test von Bohrmann nicht auf Grundlage des Modells nach Schwichow (2015, S. 56) entwickelt wurde. Ein Vergleich mit einem anderen auf diesem Modell basierenden Test, wie dem nun verfügbaren Test von Brandenburger et al. (2022), könnte zur weiteren Absicherung beitragen.

Des Weiteren wurden in dem Vergleich nur die schriftlichen und nicht die hands-on Items untersucht. Auch in dieser Richtung wären weitere Studien zur Absicherung der Interpretierbarkeit der ermittelten Testwerte als Ausdruck von VKS-bezogenen Fähigkeiten wünschenswert.

Obwohl einige Schwächen durch das INA aufgezeigt werden konnten, wurde die Interpretation der Daten wie geplant umgesetzt. Die beschriebenen Schwächen sollten allerdings bei der Diskussion der Ergebnisse mit beachtet werden.

Empirischer Teil

9 Beschreibung der Stichprobe

Die Studie wurde mit Grundschulkindern aus vierten Klassen von fünf Schule in Nordrhein-Westfalen aus dem Großraum Düsseldorf/Essen durchgeführt. Sowohl für die Intervention mit den begleitenden Erhebungen als auch für die Erhebung der Baseline verblieben die S' uS in ihren Schulen im Klassenverband.

Aus planungstechnischen Gründen konnten die Baselinegruppe und die Interventionsgruppe nicht zeitgleich erhoben werden. Die Daten zur Interventionsgruppe wurden vor und nach den Sommerferien 2018 erhoben. Die Gesamtdauer der Studie für die Interventionsgruppe umfasste jeweils vier Doppelstunden zu je 90 Minuten. Die Doppelstunden wurden nach Möglichkeit in einem Abstand von einer Woche gehalten, womit der benötigte Zeitraum für die Studie drei Wochen pro Klasse betrug.

In der ersten und der letzten der vier Doppelstunden wurde derselbe Test zur Erhebung VKSbezogener Fähigkeiten und die weiteren Tests zur Erfassung der Lernvoraussetzungen eingesetzt. Alle Tests wurden in Einzelarbeit bearbeitet.

In den dazwischenliegenden Doppelstunden bearbeiteten die S' uS der Interventionsgruppen, aus organisatorischen Gründen, die Interventionsmaterialien in Tandemgruppen (je zwei S' uS).

Insgesamt nahmen an der Intervention 244 S' uS aus 11 vierten Klassen teil. Von diesen konnten 188 vollständige Datensätze gewonnen werden. Die Bedingung für die Betrachtung eines Datensatzes als „vollständig“ ist, dass die entsprechenden S' uS sowohl an der ersten Erhebung als auch an der zweiten Erhebung teilgenommen haben und dass während der beiden Interventionstermine mindestens zwei Arbeitshefte vollständig bearbeitet wurden. Dabei wurde nicht beachtet, ob diese Bearbeitung an einem oder an beiden Interventionsterminen stattfand.

In der Baselinegruppe sollten nur die beiden Erhebungen im gleichen zeitlichen Abstand wie in der Interventionsgruppe durchgeführt werden. In der Zwischenzeit sollte soweit wie möglich gewährleistet werden, dass die VKS nicht im Regelunterricht behandelt wurde und die S' uS möglichst wenig Gelegenheit zum Austausch über das Thema erhielten. Um dies bestmöglich zu garantieren, wurde die Erhebungen vor und nach den Winterferien 2018/2019 durchgeführt.

Für die Erhebung der Baseline konnten 46 S' uS gewonnen werden. Von diesen nahmen 43 S' uS sowohl an der ersten Erhebung als auch an der zweiten Erhebung teil. Diese vollständigen Datensätze konnten in die Studie einfließen.

10 Ablauf der Testung

Die erste und die zweite Erhebung folgten grundsätzlich demselben zeitlichen Ablauf. Unterschiede lagen in der Begrüßung der S' uS und in den eingesetzten Instrumenten.

Die Erhebungsdauer umfasste jeweils eine Doppelstunde. Während der Erhebungen arbeiteten die S' uS teilweise im Klassenverband und teilweise aufgeteilt in zwei Gruppen in unterschiedlichen Räumen. Die Gruppeneinteilung für die erste und zweite Erhebung war identisch. Alle eingesetzten Instrumente wurden in Einzelarbeit bearbeitet.

In der ersten Erhebung wurden, nach einer kurzen Vorstellung und Einleitung zum Ablauf der Doppelstunde, Umschläge mit den benötigten Materialien an die S' uS ausgegeben. Um eine Anonymisierung der bearbeiteten Materialien zu gewährleisten, erhielten die S' uS hierbei randomisiert eine individuelle Teilnehmernummer. Diese Teilnehmernummer wurde in sämtlichen von den S' uS ausgefüllten Materialien eingetragen. Eine nachherige namentliche Nachverfolgung kann so ausgeschlossen werden, da keine Verknüpfung zwischen Teilnehmernummer und Name besteht.

Anschließend erfolgte im Klassenverband der Einsatz des Instruments zur Erfassung des Selbstkonzepts (Kap. 8.3). Danach wurde die Klasse in die unterschiedlichen Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe begann mit den schriftlichen Testaufgaben, die andere mit dem hands-on Teil des VKS-Tests. Die Einteilung in diese Gruppen wurde durch die Teilnehmernummer festgelegt. Aufgrund der Struktur der Teilnehmernummern wurde vorgegeben:

- ob die Schülerin oder der Schüler mit dem schriftlichen oder dem hands-on Teil des Tests beginnt (Gruppeneinteilung Testung),
- mit welchem Experiment im hands-on Teil des VKS-Tests begonnen werden soll (Organisation hands-on Teil des VKS-Tests).

Die Gruppe, die mit den schriftlichen Aufgaben begann, bearbeitete zuerst das Instrument zur Erfassung der Selbstregulationskompetenz (Kap. 8.2). Aufgrund des erhöhten Leseaufwands bei diesem Testteil wurden die Aufgaben und Antworten schrittweise vorgelesen. Damit sollte auch S' uS mit einer geringen Lesekompetenz ermöglicht werden, den gesamten Test zeiteffizient zu bearbeiten. Nach jedem

Block (bestehend aus den drei Antwortmöglichkeiten: external, unreflektiert, selbstreguliert) erhielten die S' uS Zeit zum Ankreuzen ihrer Antwort.

Es folgte die Durchführung des schriftlichen Teils des VKS-Tests (Kap. 8.5). Zunächst wurden die beiden Itemtypen (schriftlich I & schriftlich II) an Beispielaufgaben zum Thema „Brausetabletten“ erklärt. Danach wurden die Abbildungen der Experimente zum Thema „Stromkreise“ im schriftlichen Teil des VKS-Tests erläutert.

Daraufhin bearbeiteten die S' uS die Items zum Thema „Stromkreise“. Abschließend erfolgte die Erläuterung der zum Thema „Murmelbahnen“ gehörigen Abbildungen und die Bearbeitung der Items durch die S' uS.

Die andere Gruppe führte währenddessen den hands-on Teil des VKS-Tests durch. In dem dafür vorgesehen Raum wurden die für die hands-on Items benötigten Materialien an verschiedenen Stationen im Vorhinein aufgebaut. Dadurch sollte vermieden werden, dass für jedes Item zunächst neue Materialien an den Tisch gebracht werden mussten.

Die Stationen wurden so angeordnet, dass die S' uS immer abwechselnd ein Item zu dem Thema „Stromkreise“ und dem Thema „Murmelbahnen“ bearbeiteten. Die einzelnen Stationen wurden durch einen Sichtschutz voneinander getrennt. (vgl. Abb. 10.1).



Abb. 10.1: Beispielhafter Aufbau in einem Klassenraum

Die Startstation konnten die S' uS anhand der an sie ausgegeben Teilnehmernummern identifizieren.

Für die Durchführung des hands-on Teils erhielten die S' uS den „Laufzettel“ (Abb. 8.9). Wie oben beschrieben bot dieser die Möglichkeit, die eigenen Beobachtungen durch Ankreuzen festzuhalten. Ebenfalls konnte dem Laufzettel die individuelle Reihenfolge, in der die Stationen zu absolvieren waren, entnommen werden.

Vor der Durchführung des hands-on Teils wurde zunächst das Aufgabenformat anhand einer Beispielaufgabe zum Thema „Brausetabletten“ erklärt.

Danach wurden die Materialien zu den Experimenten „Murmelp Bahnen“ und „Stromkreise“ von den Testleiterinnen und Testleitern vorgestellt. Sie erläuterten, wie die verschiedenen Variablen verändert werden können und worauf für eine sichere Durchführung zu achten ist.

Nach Beendigung einer Station wurden die experimentellen Aufbauten der S' uS von den Testleiterinnen und Testleitern in einer Tabelle dokumentiert (Kap. 8.5)

fotografiert und wieder in den Ursprungszustand zurückversetzt. Anschließend rückten alle S' uS zur nächsten Station weiter.

Nach Abschluss des schriftlichen Teils bzw. des hands-on Teils tauschten die beiden Gruppen die Räume und führten den noch nicht bearbeiteten Teil der Erhebung durch.

Die Organisation der zweiten Erhebung war identisch mit der der ersten Erhebung. Allerdings fehlte hier die vorherige gemeinsame Bearbeitung des Tests zur Erfassung des Selbstkonzepts. Anstatt des Tests zur Selbstregulationskompetenz wurde im schriftlichen Teil der zweiten Erhebung neben dem VKS-Test Post der ELFE-Test (in Teilen, wie oben beschrieben Kap. 8.1) zur Erfassung der Lesekompetenz anhand des zugehörigen Testleitermanuals durchgeführt (Lenhard & Schneider, 2006).

11 Ablauf der Intervention

Für die Interventionsdauer (zwei Doppelstunden) wurde jede Klasse in zwei Materialgruppen aufgeteilt. Eine Materialgruppe arbeitete ausschließlich mit gestuften Lernhilfen, die andere ausschließlich mit Lösungsbeispielen. Die für die Intervention vorgenommene Gruppeneinteilung unterschied sich von der Gruppeneinteilung für die Erhebungen und fand ebenfalls anhand der Teilnehmernummern statt. Des Weiteren wurde durch die Teilnehmernummern festgelegt:

- mit welchem Tandempartner in der Intervention zusammengearbeitet werden soll,
- mit welchem Material in der Intervention begonnen werden soll.

Als Sozialform wurde für die Bearbeitung der Materialien die Tandemarbeit gewählt. Durch diese Wahl wurde der Materialaufwand reduziert. Des Weiteren ist anzunehmen, dass der Einsatz der untersuchten Materialien in der Schule wahrscheinlich auch aus Materialgründen in Tandemarbeit oder sogar in größeren Gruppen erfolgen würde.

Nach der Aufteilung auf unterschiedliche Räume der Schulen wurde den S' uS anhand eines Testleitermanuals (Anhang C (Testleitermanuale)) der Umgang mit den jeweiligen Unterstützungsangeboten erklärt.

Da nicht genügend Experimentiermaterial zur Verfügung stand, um alle Tandemgruppen die Experimente in derselben Reihenfolge durchführen zu lassen, starteten die Tandemgruppen mit unterschiedlichen Experimenten. Hierbei wurde darauf geachtet, dass alle möglichst früh das Experiment „Murmelbahnen“ bearbeiteten, um zu garantieren, dass dieses für die zweite Erhebung (VKS-Post) als bekannt vorausgesetzt werden konnte. Wenn alle Aufgaben eines Arbeitsheftes bearbeiteten worden waren, wurden die Materialien und Arbeitshefte von den Interventionsleiterinnen und Interventionsleiter eingesammelt. Die Tandems erhielten anschließend die Arbeitshefte und Materialien zu dem nächsten Themengebiet. Die Interventionsleiterinnen und Interventionsleiter hielten in Listen fest, welche Themengebiete bereits von welchen S' uS bearbeitet wurden und welche Auffälligkeiten oder Fragen während der Durchführung auftraten.

Für die Tandems, die mit gestuften Lernhilfen arbeiteten, enthielt diese Liste eine zusätzliche Zeile, in der die Interventionsleiterinnen und Interventionsleitern festhalten konnten, welche Hilfekarten von den S' uS genutzt wurden. Dazu wurden die S' uS aufgefordert, die von ihnen benutzten Hilfekarten in den Deckel der Karteikartenbox zu legen (Kap. 7.3).

Nach dem Einsammeln der Materialien durch die Interventionsleiterinnen und Interventionsleitern wurden die in dem Deckel liegenden Hilfekarten vermerkt. Zusätzlich wurden alle S' uS dazu aufgefordert unter jeder Aufgabe mittels Ankreuzen festzuhalten, welche Hilfekarten von ihnen genutzt worden waren.

11.1 Exkurs "Nutzung der Hilfekarten"

Für insgesamt 85 S' uS konnten Daten zur Nutzung der Hilfekarten gewonnen werden, die für einen Vergleich der beiden Erhebungsmethoden (Ankreuzen durch S' uS/Liste der Hilfskräfte) mittels einer Korrelationsanalyse geeignet sind. Die Korrelationsanalyse nach Spearman zeigte mit $\rho = .952$, $p = .001$ eine starke Korrelation zwischen den beiden Methoden der Erhebung der genutzten Lernhilfen (Bühner & Ziegler, 2009, S. 603). Daraus wurde geschlossen, dass beide Erhebungsmethoden zur Nutzung der Lernhilfen gleichermaßen effektiv waren.

Daher wurde entschieden, für die vorliegende Studie die Daten, die von den S' uS durch Ankreuzen erhoben wurden, zu verwenden. Diese Herangehensweise wurde gewählt, da angenommen wird, dass S' uS die Frage nach den von ihnen verwendeten Lernhilfen lesen und dann direkt ankreuzen, welche sie für die Lösung tatsächlich zu Rate gezogen haben. Dies erschien im Nachhinein weniger fehleranfällig, als das richtige Zurücklegen der Hilfekarten.

Insgesamt hätten die S' uS bei der Bearbeitung der ersten beiden Unterstützungsangebote (Murmelpfeifen und Federn) Gelegenheit gehabt, auf 48 unterschiedliche Hilfekarten zurückzugreifen. Da die Nutzung der Musterlösungen verpflichtend war, wurden diese Hilfekarten hier nicht mitgezählt. Von diesen Lernhilfen wurden nach Mediananalyse bei der Bearbeitung dieser beiden Unterstützungsangebote nur ca. zwei Lernhilfen genutzt. Es kann also aufgrund dieser deskriptiven Daten ausgesagt werden, dass die S' uS die Lernhilfen wenig in Anspruch genommen haben. Dies sollte in den folgenden Auswertungen und der Diskussion der Ergebnisse mitbetrachtet werden.

12 Beschreibung der Auswertungsmethodik

Im Zuge der Datenanalyse sollen die in Kapitel 5 genannten Entwicklungs- und Forschungsfragen beantwortet werden. Zur Beantwortung einiger dieser Fragen werden Varianzanalysen herangezogen (EF 1, EF 2, FF 1, FF 3). Durch eine Varianzanalyse soll geklärt werden, ob sich Gruppen hinsichtlich von Merkmalen signifikant voneinander unterscheiden. Für die FF 1 dieser Studie bedeutet dies bspw., ob sich die S' uS, die mit Lösungsbeispielen gearbeitet haben, vor und nach der Intervention bzgl. ihrer VKS-bezogenen Fähigkeiten von denjenigen unterscheiden, die mit gestuften Lernhilfen gearbeitet haben. Um Varianzanalysen anzuwenden, müssen zunächst die Voraussetzungen zur Anwendung von Varianzanalysen geprüft werden. Das Vorgehen zur Prüfung dieser Voraussetzungen wird in Kap. 12.1 beschrieben. Die Ergebnisse der jeweiligen Varianzanalysen finden sich in Kap. 13.1 und 13.2 sowie 14.1 und 14.3.

Zur Beantwortung von FF 2 wird eine Clusteranalyse angewendet, um mögliche Clustergruppen von S' uS mit ähnlichen Lernervoraussetzungen zu identifizieren. Das Vorgehen zur Identifizierung geeigneter Clustergruppen wird in den Kapiteln 12.2 und 14.2 beschrieben.

Die zur Beantwortung der Entwicklungs- und Forschungsfragen herangezogenen Daten können in Anhang D (Datensätze) eingesehen werden.

12.1 Gruppenvergleiche mittels Varianzanalyse

Zu der Beantwortung der Entwicklungs- und Forschungsfragen (EF 1, EF 2, FF 1 und FF 3) werden unterschiedliche Gruppen der gesamten Stichprobe miteinander verglichen. Für diese Vergleiche sollen parametrische Varianzanalysen herangezogen werden. Bevor eine solche Varianzanalyse durchgeführt werden kann, muss geklärt werden, ob die jeweiligen Gruppen für einen Vergleich geeignet sind. Dies ist dann der Fall, wenn die für den Vergleich herangezogenen Gruppen den Kriterien für Varianzanalysen genügen und sich innerhalb ihrer Ausgangsbedingungen gleichen (Theyßen, 2014).

Im Folgenden werden Voraussetzungen für das Durchführen einer Varianzanalyse geklärt, beschrieben wie diese Voraussetzungen in dieser Arbeit geprüft werden und wie mit etwaigen Verletzungen der Voraussetzungen umgegangen wird.

Test der Voraussetzungen

Für einen ersten Vergleich der untersuchten Gruppen werden zunächst die deskriptiven Daten herangezogen und geprüft, ob sich bereits hier Auffälligkeiten, die gegen einen Vergleich sprechen, zeigen.

Im nächsten Schritt sollen die Gruppen mit einer Varianzanalyse auf Vergleichbarkeit geprüft werden.

Um diese durchführen zu können, muss gesichert werden, dass die Daten den Bedingungen für eine Varianzanalyse (Intervallskalierung, Normalverteilung und Varianzhomogenität) genügen (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 371–375).

Hierfür werden, je nach Fragestellung, die einfließenden Daten (Vorwissen, Selbstregulationsfähigkeit, Lesefähigkeit, Selbstkonzept, kognitive Belastung und Motivation) auf Erfüllung der Bedingungen geprüft.

Die folgende Auflistung gibt wieder, wie in dieser Arbeit geprüft wurde inwieweit diese Bedingungen von den erhobenen Variablen erfüllt sind:

- Intervallskalierung

Die verwendeten Datensätze wurden mithilfe von multiple-choice-Items (VKS-Test, Selbstregulation, Lesetest) und Likertskalen (Selbstkonzept, Motivation, kognitive Belastung) erhoben. Alle Tests wurden zunächst als Rohdaten kodiert und dann automatisiert via SPSS bepunktet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die erreichbaren Punkte einer Aufgabe im selben Abstand zueinander liegen, also für alle verwendeten Tests die Bedingung der Intervallskalierung der Skala erfüllt ist.

- Normalverteilung

Dieses Kriterium kann nicht wie die Intervallskalierung bereits für alle verwendeten Datensätze im Vorhinein als erfüllt angenommen werden. Bevor bestimmte Gruppen miteinander verglichen werden, wird daher mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests ein Test auf Normalverteilung der Daten durchgeführt. Sollte der sich ergebende p-Wert kleiner als .05 sein, liegt eine Verletzung der Normalverteilung vor.

- Varianzhomogenität

Ähnlich wie das Kriterium der Normalverteilung wird vor jedem Gruppenvergleich geprüft, ob für die verwendeten Daten eine Varianzhomogenität vorliegt. Hierfür wird der Levene-Tests herangezogen. Sollte der p-Wert dieses Tests kleiner als .05 sein, zeigen die Daten keine Varianzhomogenität. Für diesen Test werden Kennwerte bezogen auf den Mittelwert und bezogen auf den Median angegeben. Liegt eine Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) vor, wird der Kennwert bezogen auf den Mittelwert, liegt keine Normalverteilung, der Wert bezogen auf den Median, zur Bestimmung der Varianzhomogenität herangezogen.

Sollte die Varianzhomogenität verletzt sein, wird der $F_{\max}$ -Test herangezogen. Hierbei wird das Verhältnis der zugrunde liegenden Varianzen berechnet. Sollte hierbei der Schwellenwert von 10 (bei Gruppengrößenverhältnis $\leq 4:1$) oder 3 (bei Gruppengrößenverhältnis $\leq 9:1$) überschritten werden müssen die Signifikanzniveaus angepasst werden (Bühner & Ziegler, 2009, 514&515).

Abschließend werden die jeweils zu vergleichenden Gruppen (z.B. Interventionsgruppe und Baselinegruppe) bzgl. ihrer Lernervoraussetzungen mittels einer multivariaten Varianzanalyse verglichen. Hiermit soll geprüft werden, ob die Gruppen dieselben Ausgangsbedingungen aufweisen oder eine der beiden zu vergleichenden Gruppen signifikant bessere bzw. schlechtere Startbedingungen aufweist als die andere Gruppe. Weisen die Gruppen unterschiedliche Startbedingungen auf, muss dies bei der abschließenden Diskussion mitbedacht werden. Daran anschließend erfolgen die für die Beantwortung der Fragestellungen notwendigen Gruppenvergleiche.

Umgang mit Verletzungen der Voraussetzungen

Es ist anzumerken, dass die hier durchgeführten Vergleiche jeweils mehr als 10 Personen pro einbezogener Gruppe aufweisen. Folgt man Bortz (2005, S. 287), sind Varianzanalysen mit solchen Probadenzahlen robust gegenüber Verletzungen der Kriterien.

Sollte durch den Kolmogorov-Smirnov Test oder Levene-Test Verletzungen der Bedingungen einer Varianzanalyse aufgezeigt werden, wird neben der multivaria-

ten Varianzanalyse der Mann-Whitney-U Test als ein nicht parametrisches Verfahren zur Datenanalyse herangezogen. Der Mann-Whitney-U Test wird dabei für jede einfließende Lernervoraussetzung durchgeführt, um etwaige Unterschiede auf der Ebene der Lernervoraussetzung zu identifizieren. Das beschriebene Vorgehen verdeutlicht die folgende Abbildung (Abb. 12.1).

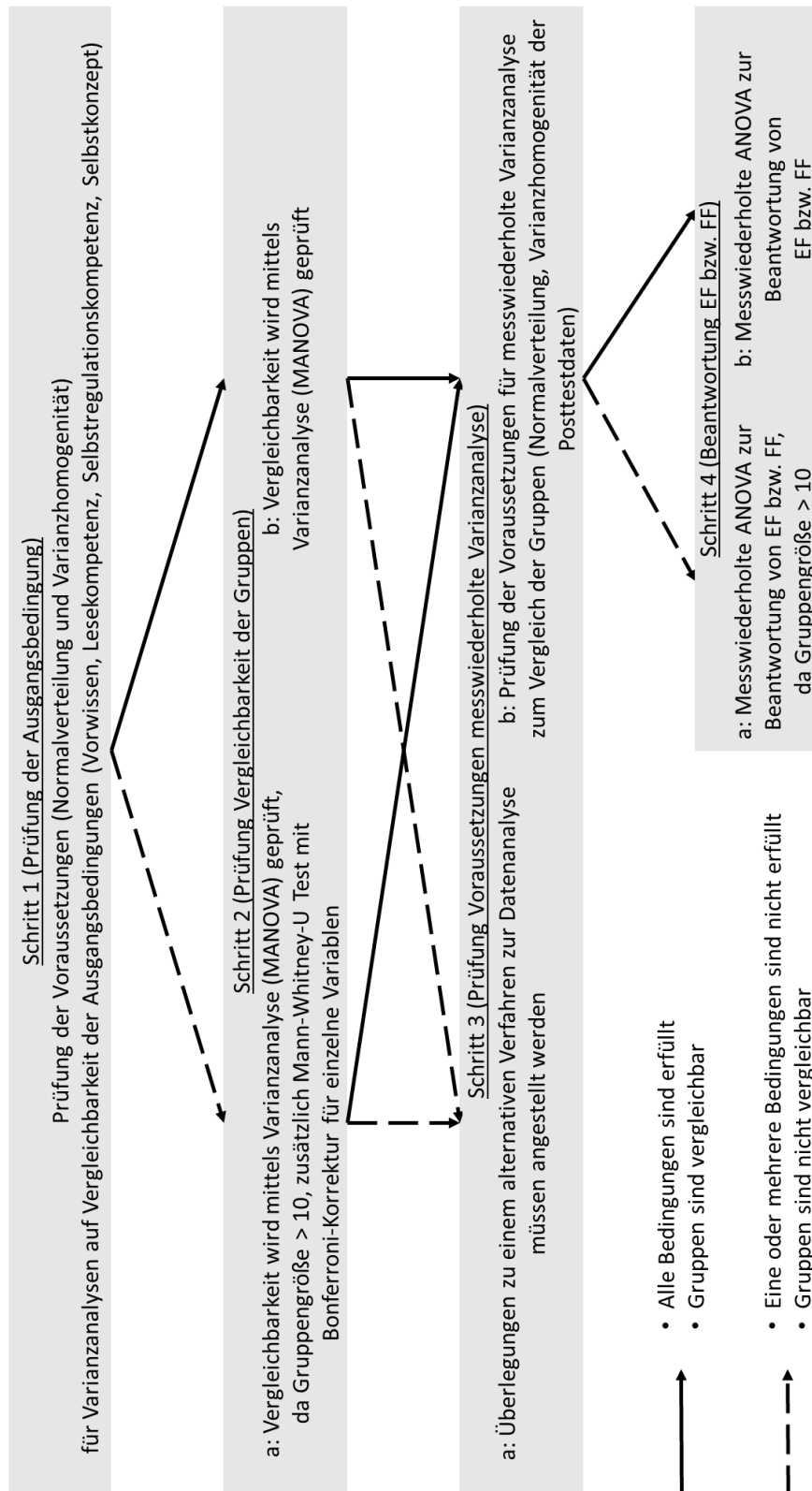


Abb. 12.1: Schema zum Vorgehen der Datenanalyse

12.2 Vorgehen bei der eingesetzten Clusteranalyse

Eine Clusteranalyse dient dazu, einen Datensatz anhand bestimmter Merkmale in möglichst homogene Gruppen (Clustergruppen) zu unterteilen (Bortz & Schuster, 2010, S. 453). Daher wird diese zur Beantwortung der FF 2 herangezogen.

In dem hier beschriebenen Fall sollen die S' uS, die an der Interventionsstudie teilgenommen haben, anhand ihrer Lernervoraussetzungen in Clustergruppen aus S' uS unterteilt werden, die sich bzgl. ihrer Voraussetzungen möglichst ähnlich sind.

Um eine Clusteranalyse erfolgreich durchzuführen, ist es notwendig, zunächst die Stichprobe dahingehend zu untersuchen, ob Fälle existieren, die nicht in Clustergruppen verortbar sind, da ihre Antworten zu sehr von denen aller anderen abweichen. Dies geschieht mit einer sogenannten Ausreißeranalyse. Werden bei der Ausreißeranalyse Fälle gefunden, die sehr stark von allen anderen abweichen, werden diese Fälle verworfen und fließen anschließend nicht mehr in die weitere Auswertung mit ein.

Anschließend erfolgt mit den verbleibenden Fällen eine Clusteranalyse mittels der Ward-Methode (Bortz & Schuster, 2010), um mögliche Clustergruppen von Lernenden mit ähnlichen Ausprägungen von Lernervoraussetzungen zu identifizieren.

Durch die Clusteranalyse wird allerdings nicht geprüft, ob die Anzahl der gebildeten Clustergruppen sinnvoll beschrieben und interpretiert werden kann. Es kann also nicht direkt abgeleitet werden, in wie viele einzelne Clustergruppen die Stichprobe zu unterteilen ist. So ist es vorstellbar, dass maximal jede einzelne Schülerin und jeder einzelne Schüler eine separate Clustergruppe bildet oder minimal zwei Clustergruppen gebildet werden, in denen alle S' uS verortet lassen. Um nun die Zahl der zu bildenden Clustergruppen stärker einzuschränken, bieten sich der Test von Mojena und die Verwendung des Elbow-Kriteriums (König, 2020) an. Die so stark reduzierte Zahl der möglichen Clustergruppen muss in einem letzten Schritt dahin überprüft werden, ob diese Clustergruppen auch sinnvoll interpretiert und beschrieben werden können.

13 Beantwortung der Entwicklungsfragen

13.1 Entwicklungsfrage 1

Zur Beantwortung der EF 1: „*Fördert der Umgang mit den umgesetzten Interventionen den Erwerb der VKS in der Grundschule?*“, muss aufgeklärt werden, ob S‘ uS, die mit den Interventionsmaterialien gearbeitet haben, im Mittel einen größeren Lernzuwachs bezüglich ihrer VKS-bezogenen Fähigkeiten erreichten als S‘ uS, die diese Intervention nicht bearbeitet haben. Dazu wird eine Baselinegruppe (ohne Unterstützungsangebote; N=43) bezüglich des Lernzuwachses über den Interventionszeitraum mit der Interventionsgruppe (Arbeit mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen; N=188) mithilfe einer messwiederholten ANOVA verglichen. Dieser Vergleich soll Aufschluss darüber geben, ob nach der Arbeit mit dem Interventionsmaterial Lernzuwächse gefunden werden können und des Weiteren untersucht werden, ob die Baselinegruppe ebenfalls Lernzuwächse aufzeigt. Sollte die Baselinegruppe Lernzuwächse zeigen, könnte dies ein Hinweis auf einen Testwiederholungseffekt sein.

Vor der Beantwortung der Entwicklungsfrage muss geprüft werden, ob die Baselinegruppe und Interventionsgruppe miteinander verglichen werden können (vgl. 12.1). Da hier sowohl Daten von S‘ uS einfließen, die mit Interventionsmaterialien gearbeitet haben als auch von S‘ uS, die nicht mit Interventionsmaterialien gearbeitet haben, werden hier Daten zur Motivation und kognitiven Belastung nicht mit betrachtet, da diese nur für die Interventionsgruppe vorliegen.

Um miteinander verglichen werden zu können, müssen bei beiden Gruppen dieselben Ausgangsbedingungen vorliegen. Dazu werden die Gruppen mithilfe einer multivariaten Varianzanalyse hinsichtlich der Unterschiede verglichen. Ggf. wird der Mann-Whitney-U Test als nicht parametrisches Verfahren zum Vergleich miteinbezogen.

Sprechen die Ergebnisse für die Vergleichbarkeit der Gruppen, wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. In die Varianzanalyse fließt als Innersubjektfaktor die Erhebungszeit ein. Sowohl zum Zeitpunkt der ersten Erhebung als auch zum Zeitpunkt der zweiten Erhebung wurde von allen S‘ uS der VKS-Test in vollem Umfang bearbeitet. Als Zwischensubjektfaktor geht die Gruppenzugehörigkeit (Baselinegruppe oder Interventionsgruppe) ein. Findet sich eine signifikante Interaktion Zeit*Gruppe, kann davon ausgegangen werden, dass

eine der beiden Gruppen einen höheren Lernzuwachs über den Interventionszeitraum erreicht hat. Ob es sich hierbei um die Baselinegruppe oder die Interventionsgruppe handelt, kann mittels eines Interaktionsdiagramms überprüft werden. Findet sich keine Interaktion Zeit*Gruppe, lernten beide Gruppen im gleichen Maß über den Interventionszeitraum dazu. Dies würde dafür sprechen, dass die Intervention nicht lernwirksam ist.

Prüfung der Daten (Intervention/Baseline)

Im Folgenden wird überprüft, inwieweit die vorliegenden Daten geeignet für eine Varianzanalyse sind und wie mit etwaigen Verletzungen der Voraussetzungen umgegangen wird. Hierzu wird entsprechend Kap. 12.1 vorgegangen. Wie dort beschrieben, wird davon ausgegangen, dass alle Daten als intervallskaliert betrachtet werden können. Weitere Bedingungen werden mittels des Kolmogorov-Smirnov Tests (Normalverteilung) und des Levene-Tests (Varianzhomogenität) überprüft. Abschließend werden die Gruppen mittels einer multivariaten Varianzanalyse verglichen.

Die deskriptive Analyse der vorliegenden Daten zeigt folgendes Ergebnis (Tab. 13.1), aufgeteilt nach der Gruppenzugehörigkeit.

Tab. 13.1. Deskriptive Ergebnisse des Vergleichs Baselinegruppe – Interventionsgruppe
* angegeben sind Mittelwerte, in Klammern die Standardabweichung und in kursiv die Varianzen

Variable	Baselinegruppe	Interventionsgruppe
N	43	188
VKS bezogenes Vorwissen in Prozent (Prozent VKS-Test Prä)*	35,3 (19,5; 382,0)	40,0 (24,5; 599,4)
Prozent Lesekompetenztest*	71,1 (18,2; 330,7)	77,2 (16,7; 277,2)
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz*	56,2 (20,6; 132,3)	57,7 (23,1; 141,8)
Prozent Fragebogen Selbstkonzept*	80,0 (11,5; 424,1)	86,3 (11,9; 531,5)

Die deskriptiven Daten (vgl. Tab. 13.1) zeigen, dass sich die S' uS beider Gruppen sowohl in dem Lesetest als auch dem Fragebogen „Selbstkonzept“ im Mittel auf

ähnlichem Niveau bewegen. Auch für das VKS-Vorwissen und die Selbstregulationsfähigkeit liefern die deskriptiven Daten keine Anhaltspunkte für mögliche Unterschiede.

Der **Kolmogorov-Smirnov-Test** zeigte eine Verletzung der Normalverteilung für fast alle Lernervoraussetzungen sowohl in der Baselinegruppe als auch in der Interventionsgruppe (vgl. Tab. 13.2).

Tab. 13.2. Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov- Tests für die Lernervoraussetzungen der Baselinegruppe und Interventionsgruppe

Variable	p-Werte Kolmogorov-Smirnov-Tests	
	Baselinegruppe	Interventionsgruppe
Prozent VKS-Test (Prä)	<.01	<.01
Prozent Lesekompetenztest	.11	<.01
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.07	<.01
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.04	<.01

Der **Levene-Test** zeigte eine Verletzung der Varianzhomogenität bei dem VKS-Test (Prä) (Median) (vgl. Tab. 13.3). Aus diesem Grund wird der $F_{\max}$ -Test herangezogen. Der $F_{\max}$ -Test zeigt einen Wert von 1,6 und liegt damit unter dem Schwellenwert von 10. Daher muss das Signifikanzniveau nicht angepasst werden (vgl. Kap. 12.1)

Tab. 13.3. Ergebnisse des Levene- Tests für die Lernervoraussetzungen der Baselinegruppe und Interventionsgruppe

Variable	p-Werte Levene-Tests	
	Basierend auf Mittelwert	Basierend auf Median
Prozent VKS-Test (Prä)	<.01	.02
Prozent Lesekompetenztest	.25	.31
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.27	.34
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.92	.90

Das Ergebnis der multivariaten Varianzanalyse unter Einbezug aller Lernervoraussetzungen zeigte, dass kein Unterschied zwischen Baselinegruppe und Interventionsgruppe besteht.

$$F(4,226)= 1.80; p = .13$$

Allerdings wurden durch die vorangegangenen Tests (Normalverteilung, Varianzhomogenität) Verletzungen der Bedingungen zu Durchführung einer Varianzanalyse aufgezeigt (diese Verletzungen würden auch weiterhin nach Anwendung einer Bonferroni-Korrektur bestehen), weshalb zusätzlich zur Varianzanalyse der Mann-Whitney-U Test (vgl. Tab. 13.4) als nicht-parametrisches Verfahren zum Vergleich der Ausgangsbedingungen herangezogen wurde (vgl. Kap. 12.1).

Tab. 13.4. Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zur Vergleichbarkeit von Baselinegruppe und Interventionsgruppe

Variable	p- Wert Mann-Whitney-U-Test
VKS bezogenes Vorwissen (Prozent VKS-Test Prä)	.46
Prozent Lesekompetenztest	.04
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.76
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.01

Bei der Aufschlüsselung nach den einzelnen Variablen liefern die Kennwerte des Mann Whitney-U Tests Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Lesekompetenz und des Selbstkonzepts. Auch unter Einbezug einer Bonferroni-Korrektur, würden sich die Gruppen weiterhin bzgl. der Lesekompetenz unterscheiden.

Hier ist anzumerken, dass die Baselinegruppe keine Lerngelegenheit abseits des VKS-Tests (Prä) für den Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten erhielt. Deshalb ist für den hier gezeigten Vergleich die Lernervoraussetzung „VKS Vorwissen“ von besonderer Bedeutung. In dieser Variablen sollten sich beide Gruppen möglichst ähnlich sein.

Die weiteren Lernervoraussetzungen sind vor allem zur Untersuchung der verschiedenen Unterstützungsangebote wichtig und stehen erst bei der Beantwortung der entsprechenden Forschungsfragen im Vordergrund.

Die Analyse der Datenlage zeigt demnach zwar Unterschiede, allerdings kann bzgl. der für die Beantwortung der EF 1 zentralen Testwerte (VKS-Test) von einer hinreichend guten Vergleichbarkeit der beiden Gruppen ausgegangen werden. Aus diesen Gründen und der ausreichenden Gruppengröße wurde entschieden, den Lernzuwachs beider Gruppen zur Beantwortung der EF 1 mittels einer ANOVA mit Messwiederholung zu vergleichen.

Ergebnisse zu EF 1

Da für den Prä-Post Vergleich die Werte des Nachtests (Baseline/Intervention) herangezogen werden, müssen diese ebenfalls auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft werden.

VKS-Posttest (Baseline): Kolmogorov-Smirnov-Test: $p=.051$

VKS-Posttest (Intervention): Kolmogorov-Smirnov-Test: $p<.001$

Levene (Median): $p=.389$

Levene (Mittelwert): $p=.313$

Es zeigt sich, dass eine Varianzhomogenität vorliegt. Daher muss kein $F_{\max}$ Test durchgeführt werden. Der Test auf Normalverteilung zeigt auf, dass die Daten nicht durchgängig normalverteilt sind. Aufgrund der ausreichenden Gruppengröße (Int: 188 / Base 43) wurde entschieden, den Vergleich wie geplant durchzuführen.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigen eine signifikante Interaktion zwischen Zeit und Gruppe (Intervention /Baseline).

$$F(1,229)= 14.80; p < .01; \eta^2=.06$$

Dies deutet darauf hin, dass ein Unterschied bzgl. des Lernzuwachses zwischen S' uS der Baseline und Interventionsgruppe besteht. Aufschluss darüber, welche der beiden Gruppen überlegen ist, liefert das Interaktionsdiagramm (Abb. 13.1).

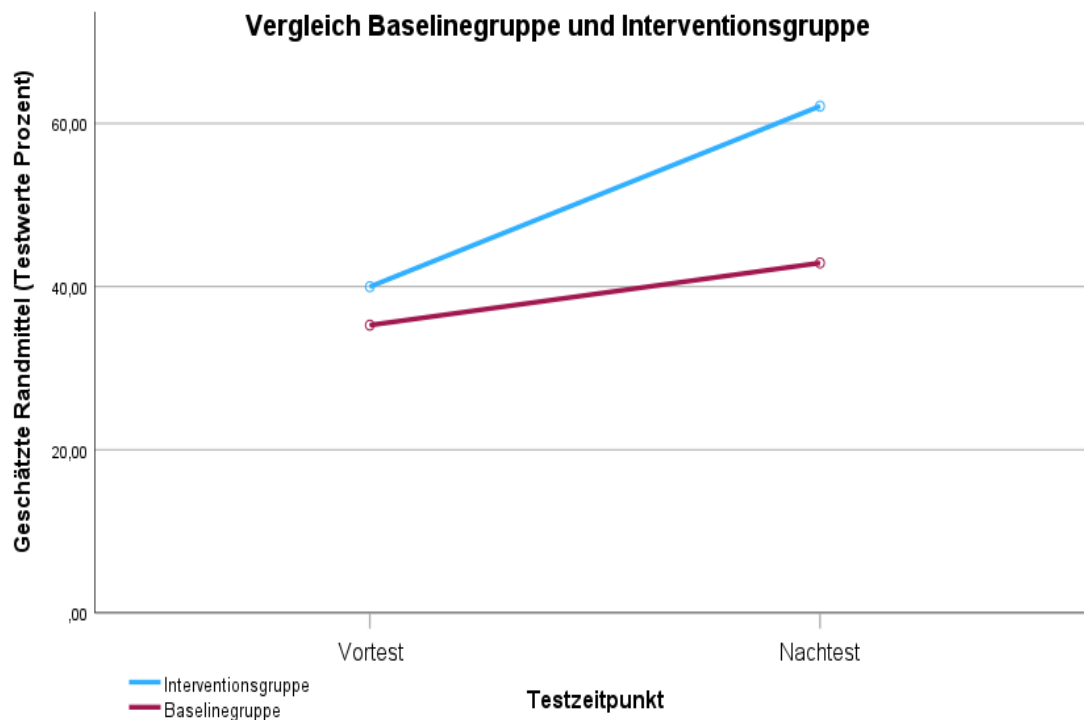


Abb. 13.1: Interaktionsdiagramm Zeit*Gruppe (Intervention/Baseline)

Das Interaktionsdiagramm zeigt einen stärkeren Zuwachs für die Interventionsgruppen im Zeitraum vom Vortest zum Nachtest.

Da eine signifikante Interaktion vorliegt, soll im Weiteren untersucht werden, wie der Lernzuwachs der einzelnen Gruppen ausfällt. Dazu wurden jeweils einfaktorielle Varianzanalysen, getrennt für beide Gruppen herangezogen. Für beide einzelnen Gruppen zeigte sich ein signifikanter Effekt der Zeit (vgl. Tab. 13.5).

Tab. 13.5: Ergebnisse einzelner Varianzanalysen für Baseline und Intervention mit Messwiederholung zur Untersuchung der Entwicklungsfrage 1

Effekt	Faktor	Freiheitsgrade	F-Wert	p	η_p^2
Haupteffekt	Zeit (Baselinegruppe)	1, 42	4.68	<.04	.10
Haupteffekt	Zeit(Interventionsgruppe)	1, 187	187.95	<.01	.50

Für diese signifikanten Effekte zeigen Bonferroni korrigierte Post-Hoc Tests einen größeren Lernzuwachs für diejenigen S' uS, die an der Intervention teilgenommen haben, als für diejenigen die nicht an der Intervention teilgenommen haben.

Baseline: $p < .04$, $M_{\text{Diff}} = 7.62$ –CI [.51, 14.73]
 Intervention: $p < .001$, $M_{\text{Diff}} = 22,13$ –CI [18,95, 25,32]

13.2 Entwicklungsfrage 2

Zur Klärung der EF 2: *„Finden sich Unterschiede bzgl. der aktuellen Motivation oder kognitiven Belastung zwischen der Arbeit mit Lösungsbeispielen und der Arbeit mit gestuften Lernhilfen?“*, wurde die Interventionsgruppe (N=188) herangezogen.

Zur Beantwortung sollten S' uS, aufgeteilt nach den Materialgruppen (Lösungsbeispiele/ gestufte Lernhilfen), bzgl. Unterschieden in kognitiver Belastung und Motivation mittels einer Varianzanalyse untersucht werden.

Hierzu wurden sowohl in den Arbeitsheften mit gestuften Lernhilfen als auch in den Arbeitsheften, die als Lösungsbeispiele gestaltet wurden, wie in Kap. 8.4 beschrieben, an denselben Stellen (mittig und am Ende jedes Arbeitshefts) Items zur Motivation und kognitiven Belastung eingesetzt.

Zur Auswertung wurden nur die Materialien zum Thema „Murmelbahnen“ und „Federn“ herangezogen, da nur bei diesen garantiert werden kann, dass sie von dem Großteil der S' uS bearbeitet wurden. Für die Varianzanalyse muss zunächst untersucht werden, ob die verwendeten intervallskalierten Daten den Kriterien für den Vergleich mittels Varianzanalyse genügen (vgl. Kap. 12.1).

Prüfung der Daten (kognitive Belastung und Motivation)

Im Folgenden wird überprüft, inwieweit die vorliegenden Daten geeignet für eine Varianzanalyse sind. Von den zur Beantwortung der Fragestellung zur Verfügung stehenden 188 S' uS konnten zur Beantwortung der Frage nach der kognitiven Belastung 170 S' uS und zur Beantwortung der Frage nach der Motivation 177 S' uS mit vollständigen Datensätzen herangezogen werden. Vollständig bedeutet, dass alle Items beantwortet wurden.

Um zu prüfen, inwieweit die Daten für das Durchführen einer Varianzanalyse geeignet sind, wurde wie in Kap. 12.1 vorgegangen. Wie dort beschrieben können die einfließenden Daten als intervallskaliert angesehen werden. Die weiteren Bedingungen werden mittels des Kolmogorov-Smirnov Tests (Normalverteilung) und des Levene-Tests (Varianzhomogenität) überprüft. Danach wurden die deskriptiven Daten, die Varianzanalyse und ggf. der Mann-Whitney-U Test zum Vergleich der Materialgruppen herangezogen. Das weitere in Kap. 12.1 beschriebene Vorgehen ist hier nicht notwendig, da keine Lernzuwächse über einen bestimmten Zeitraum untersucht werden sollen.

Die deskriptiven Daten zeigen, dass sowohl bei der Arbeit mit den Lösungsbeispielen als auch bei der Arbeit mit den gestuften Lernhilfen die S' uS laut eigenen

Aussagen hoch motiviert und wenig kognitiv belastet waren (Tab. 13.6). Zum besseren Verständnis der gezeigten Daten muss darauf hingewiesen werden, dass bei der Erfassung der kognitiven Belastung, wie in Kapitel 8.4 beschrieben, maximal doppelt so viel Punkte wie bei der Erfassung der Motivation erreicht werden konnten.

In den zwei betrachteten Arbeitsheften konnten demnach maximal 40 Punkte bezogen auf die kognitive Belastung und 20 Punkte bezogen auf die Motivation erreicht werden. Wobei eine hohe Punktzahl für eine geringe kognitive Belastung bzw. eine hohe Motivation spricht.

Tab. 13.6: Deskriptive Daten zur kognitiven Belastung und Motivation

Unterstützungsangebot	Messwert	kognitive Belastung	Motivation
Lösungsbeispiele	Mittelwert	34,1	16,4
	Std.-Abweichung	5,7	3,6
	Varianz	32,4	13,0
Gestufte Lernhilfen	Mittelwert	33,8	17,0
	Std.-Abweichung	6,3	4,2
	Varianz	39,7	17,3

Zur Prüfung der Normalverteilung wurde der **Kolmogorov-Smirnov-Test** herangezogen. Dieser zeigte sowohl für die einzelnen Materialgruppen (Lösungsbeispiele/ gestufte Lernhilfen) als auch bei Berücksichtigung der Interventionsgruppe als Gesamtheit eine Verletzung der Normalverteilung $p < .001$.

Zur Prüfung der Varianzhomogenität wurde der **Levene-Test** herangezogen. Dabei konnte sowohl für die Motivation mit $p = .949$ als auch für die kognitive Belastung mit $p = .566$, basierend auf den jeweiligen Medianen, eine Homogenität der Varianz aufgezeigt werden. Es muss demnach nicht der $F_{\max}$ -Test herangezogen werden.

Ergebnisse zu EF 2

Zum Vergleich der beiden Materialgruppen wurden Motivation und kognitive Belastung jeweils mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht.

Bezogen auf die kognitive Belastung zeigte sich kein signifikanter Unterschied:

$$F(1,168)=1,54, p=.562$$

Ebenfalls zeigte sich kein Unterschied bezogen auf die Motivation beim dem Vergleich:

$$F(1,175)=816, p=.368$$

Aufgrund der Verletzungen der Bedingungen einer Varianzanalyse wurde zusätzlich der Mann-Whitney-U-Test eingesetzt. Durch diesen konnten gleichfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Materialgruppen aufgedeckt werden (Motivation: $U=3499.00$, $Z=-.257$, $p=.798$ / kognitive Belastung: $U=3369.50$, $Z=-1.539$, $p=.124$).

13.3 Beantwortung und Diskussion der Entwicklungsfragestellungen

Durch die Bearbeitung der Entwicklungsfragestellungen sollte geprüft werden, ob die entwickelten Interventionsmaterialien geeignet sind, VKS-bezogene Fähigkeiten zu fördern und inwieweit die beiden Materialgruppen für einen direkten Vergleich geeignet sind.

Um aufzuklären, ob die Interventionsmaterialien lernförderlich sind, wurde die gesamte Interventionsgruppe, ohne Aufteilung nach Materialgruppen, mit der Baselinegruppe, die nur den Test im selben zeitlichen Abstand bearbeitete, verglichen. Der Vergleich der beiden Gruppen zeigt auf, dass sowohl die Baselinegruppe als auch die Interventionsgruppe einen signifikanten Zuwachs der VKS-bezogenen Fähigkeiten erfahren. Da zwischen den beiden Erhebungen der Baseline durch die zeitliche Gestaltung (über die Weihnachtsferien) wahrscheinlich kein Lernen zum Thema VKS stattgefunden hat, kann angenommen werden, dass schon die zweimalige Bearbeitung des VKS-Tests zu einer Verbesserung des Testergebnisses führt.

Dies deutet auf einen Testwiederholungseffekt hin, der die Ergebnisse der Interventionsgruppe beeinflussen kann. Um diesen Effekt zu minimieren, wäre es möglich gewesen, im Prä- und Posttest teilweise verschiedene Items zu verwenden und mittels einer Raschanalyse auszuwerten.

Der Vergleich der Interventionsgruppe mit der Baselinegruppe zeigt auf, dass die Interventionsgruppe signifikant mehr dazu lernte als die Baselinegruppe. Dies stützt die Annahme, dass die Arbeit mit den Interventionsmaterialien den Erwerb der VKS-bezogenen Fähigkeiten in der Grundschule fördert.

Ob eines der beiden Unterstützungsangebote (Lösungsbeispiele / gestufte Lernhilfen) lernwirksamer ist als das andere, muss durch Vergleich der Materialgruppen überprüft werden (vgl. 14.1).

Um diesen Vergleich zwischen den beiden Materialgruppen durchzuführen, muss untersucht werden, ob beide Materialien in ähnlicher Weise motivierend und kognitiv entlastend sind. Einen Hinweis auf einen möglichen Unterschied bzgl. der Motivation zeigte Schmidt-Borcherding et al. (2013) zugunsten der Arbeit mit gestuften Lernhilfen auf. Sollte die Arbeit mit den Materialien verschieden motivierend oder kognitiv entlastend sein, müsste dies bei der Auswertung der Ergebnisse mit beachtet werden.

Die Analyse der zur Verfügung stehenden deskriptiven Daten zeigte, dass, laut Angaben der S' uS, die Arbeit sowohl mit den gestuften Lernhilfen als auch mit den Lösungsbeispielen nur wenig kognitiv belastend ist und zu einer hohen Motivation führt. Diese Aussage konnte durch die verwendeten statistischen Verfahren untermauert werden, da gezeigt werden konnte, dass kein signifikanter Unterschied bzgl. der kognitiven Belastung und Motivation zwischen beiden Materialgruppen vorliegt. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse von Schmidt-Borcherding et al. (2013) für diese Stichprobe nur teilweise bestätigt werden. So wurde zwar aufgezeigt, dass sowohl gestufte Lernhilfen als auch Lösungsbeispiele nur gering kognitiv belasten (vgl. Kap. 4).

Dass durch die Arbeit mit gestuften Lernhilfen eine stärkere Motivation hervorgerufen wird als durch die Arbeit mit Lösungsbeispielen, kann für diese Stichprobe nicht bestätigt werden.

Allerdings muss als Limitation dieser Ergebnisse herausgestellt werden, dass es fraglich ist, inwieweit S' uS in der Grundschule bereits in der Lage sind, anhand schriftlicher Items konkrete Aussagen bzgl. der eigenen Motivation und kognitiven Belastung zu tätigen.

Bezogen auf die Entwicklungsfragestellung wurden die Ergebnisse dahingehend interpretiert, dass die Arbeit mit beiden Materialien zumindest in gleicher Weise kognitiv entlastend und ähnlich motivierend ist. Dies bedeutet, dass beide Aspekte in der folgenden Datenanalyse und Diskussion nicht gesondert betrachtet werden müssen.

14 Beantwortung der Forschungsfragen

14.1 Forschungsfrage 1

Zur Klärung der FF 1: „Profitieren Schülerinnen und Schüler verschieden von dem Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen beim Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten?“, müssen die S' uS, die mit Lösungsbeispielen gelernt haben, bzgl. des Lernzuwachses über den Interventionszeitraum mit denen verglichen werden, die mit gestuften Lernhilfen lernten. Hierzu soll eine messwiederholte ANOVA herangezogen werden. Durch diese kann aufgezeigt werden, ob Unterschiede bzgl. der Lernwirksamkeit von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen existieren.

Vor der Beantwortung der Forschungsfrage muss geprüft werden, ob die beiden Materialgruppen (Lösungsbeispiele / gestufte Lernhilfen) miteinander durch eine Varianzanalyse verglichen werden können (vgl. Kap. 13).

Sprechen die Ergebnisse für die Vergleichbarkeit der Materialgruppen, wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. In diese fließt als Innersubjektfaktor die Erhebungszeit mit den jeweiligen erhobenen Daten des VKS Tests Prä bzw. Post ein. Als Zwischensubjektfaktor geht das bearbeitete Unterstützungsangebot (Lösungsbeispiele oder gestufte Lernhilfen) ein. Findet sich eine signifikante Interaktion Zeit*Unterstützungsangebot, kann davon ausgegangen werden, dass ein Unterstützungsangebot lernwirksamer war als das andere. Welches der beiden Angebote lernwirksamer war, kann anschließend anhand eines Interaktionsdiagramms überprüft werden. Findet sich keine solche Interaktion, sind beide Materialien gleichermaßen lernwirksam.

Vergleichbarkeit der Materialgruppen

Im Folgenden wird überprüft, inwieweit die vorliegenden Daten geeignet für eine Varianzanalyse sind. Alle einfließenden Daten können als intervallskaliert angesehen werden. Die Überprüfung der weiteren Kriterien erfolgt wie gehabt (vgl. Kap. 12.1) und ggf. wird der Mann-Whitney-U Test herangezogen.

Die deskriptive Analyse der vorliegenden Daten zeigt folgendes Ergebnis (Tab. 14.1), aufgeteilt nach der Materialgruppe:

Tab. 14.1. Deskriptive Ergebnisse des Vergleichs der Materialgruppe
* angegeben sind Mittelwerte, in Klammern die Standardabweichung und in kursiv die Varianzen

Variable	Lösungsbeispiele	gestufte Lernhilfen
N	103	85
Prozent VKS-Test (Prä)*	38,7 (24,7; 611,2)	41,6 (24,2; 587,6)
Prozent Lesekompetenztest*	77,5 (16,5; 273,3)	76,9 (16,9; 285,2)
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz*	58,3 (23,4; 548,2)	56,9 (22,7; 516,3)
Prozent Fragebogen Selbstkonzept*	85,4 (13,4; 180,5)	87,4 (9,7; 94,4)

Die deskriptiven Daten deuten auf einen Unterschied zwischen den Materialgruppen bzgl. der Selbstregulationsfähigkeit und des Selbstkonzepts der S' uS zwischen den Materialgruppen hin.

Der **Kolmogorov-Smirnov-Test** zeigt eine Verletzung der Normalverteilung für alle Lernervoraussetzungen in beiden Materialgruppen (vgl. Tab. 14.2). Auch nach Einbezug einer Korrektur nach Bonferroni würde weiterhin eine Verletzung der Normalverteilung vorliegen.

Tab. 14.2. Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov- Tests für die Lernervoraussetzungen der Materialgruppen

Variable	p-Werte Kolmogorov-Smirnov-Test	
	Lösungsbeispiele	gestufte Lernhilfen
Prozent VKS-Test (Prä)	<.01	<.01
Prozent Lesekompetenztest	<.01	.01
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.03	.02
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	<.01	<.01

Der **Levene-Test** zeigt keine Verletzung der Varianzhomogenität (Median, vgl. Tab. 14.3). Dieses Ergebnis würde auch nach einer Bonferroni-Korrektur bestehen. Es muss demnach nicht der $F_{\max}$ -Test hinzugezogen werden.

Tab. 14.3. Ergebnisse des Levene- Tests für die Lernervoraussetzungen der Materialgruppen

Variable	p-Werte Levene-Test	
	Basierend auf Mittelwert	Basierend auf Median
Prozent VKS-Test (Prä)	.40	.35
Prozent Lesekompetenztest	.42	.43
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.46	.45
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.05	.10

Das Ergebnis der multivariaten Varianzanalyse, unter Einbezug aller Lernervoraussetzungen, zeigt keinen Unterschied zwischen den beiden Materialgruppen:

$$F(4,183)= 0,794; p = .53.$$

Aufgrund der Verletzungen der Bedingungen für die Durchführung von Varianzanalysen wird zusätzlich zur Varianzanalyse der Mann-Whitney-U-Test als nicht-parametrisches Verfahren zum Vergleich herangezogen.

Hierbei liefern die Kennwerte des Mann-Whitney-U Tests ebenfalls keinen Hinweis auf einen Unterschied zwischen den Materialgruppen (vgl. Tab. 14.4). Auch nach dem Einbezug einer Korrektur nach Bonferroni, würde hier kein Unterschied nachgewiesen werden können.

Tab. 14.4. Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zur Vergleichbarkeit der Materialgruppen

Variable	p- Wert Mann-Whitney-U-Test
VKS bezogenes Vorwissen (Prozent VKS-Test Prä)	.32
Prozent Lesekompetenztest	.84
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.72
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.60

Trotz der aufgezeigten Verletzung der Bedingungen wurde sowohl aufgrund der ausreichenden Gruppengröße, der Ergebnisse der Varianzanalyse als auch der Ergebnisse des Mann-Whitney-U Tests entschieden, beide Materialgruppen mittels einer messwiederholten ANOVA zu untersuchen.

Ergebnisse zu FF 1

Da für den Prä-Post Vergleich die Werte des Nachtests herangezogen werden, müssen diese ebenfalls auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft werden.

VKS-Posttest (Lösungsbeispiele): Kolmogorov-Smirnov-Test: $p < .001$
VKS-Posttest (gestufte Lernhilfen): Kolmogorov-Smirnov-Test: $p < .001$

Levene (Median): $p = .204$
Levene (Mittelwert): $p = .108$

Es zeigt sich das eine Varianzhomogenität vorliegt. Daher muss kein $F_{\max}$ Test durchgeführt werden. Die Daten sind allerdings nicht normalverteilt. Aufgrund der ausreichenden Gruppengröße (LB: 103 / gL 85) wurde, entschieden den Vergleich wie geplant durchzuführen.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigen keinen signifikanten Effekt bzgl. der Interaktion Zeit*Material (vgl. Tab. 14.5).

$$F(1,186) = 2.85; p = .09; \eta^2 = .015$$

Dies bedeutet, dass keines der beiden Angebote bzgl. des Lernerfolgs dem anderen überlegen ist.

Die Analyse zeigt allerdings einen Effekt der Zeit.

$$F(1,186) = 183.66; p < .001; \eta^2 = .497$$

Dies deutet daraufhin, dass im Prä-Post Vergleich die S' uS signifikant dazulernen. Verdeutlicht wird dies auch durch das Interaktionsdiagramm, das einen fast parallelen Verlauf der beiden Graphen aufweist.

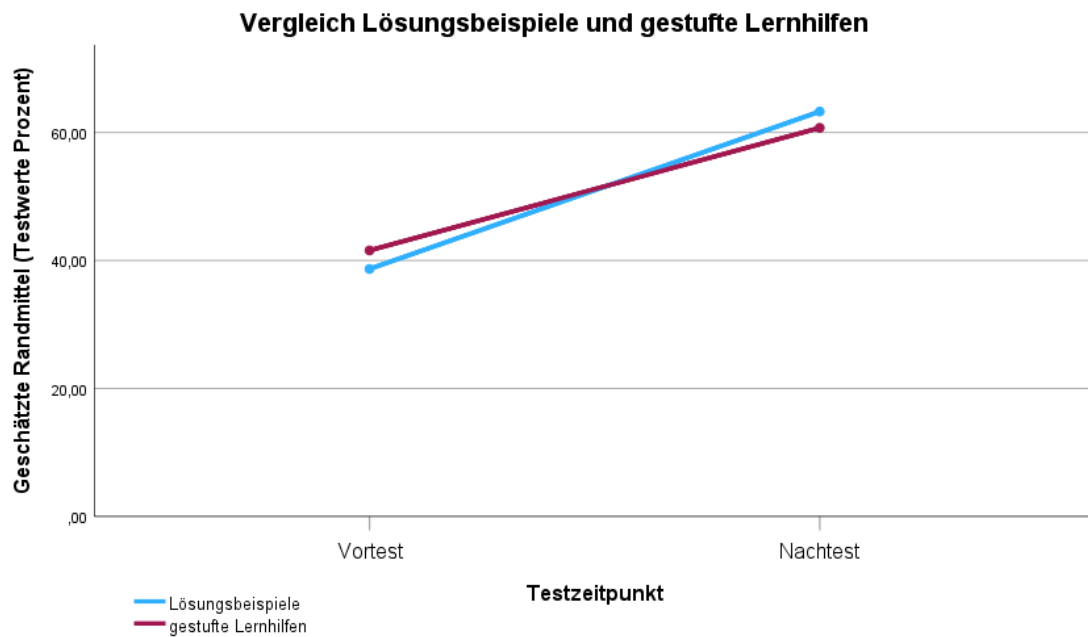


Abb. 14.1: Interaktionsdiagramm Zeit*Interventionsgruppe (Lösungsbeispiele/gestufte Lernhilfen)

Zur weiteren Analyse wurde im Folgenden der Lernzuwachs der einzelnen Gruppen im Prä-Post Vergleich untersucht. Dazu wurden jeweils einfaktorielle Varianzanalysen, getrennt für beide Materialgruppen, herangezogen. Für beide einzelnen Gruppen zeigte sich jeweils ein signifikanter Effekt der Zeit (vgl. Tab. 14.4).

Tab. 14.5. Ergebnisse einzelner Varianzanalysen für der beiden Materialgruppen mit Messwiederholung zur Untersuchung der der Forschungsfrage 1

Effekt	Faktoren	Freiheitsgrade	F-Wert	p	η_p^2
Haupteffekt	Zeit (Lösungsbeispiele)	1, 102	123.51	<.01	.55
Haupteffekt	Zeit (gestufte Lernhilfen)	1, 84	67.49	<.01	.45

Für diese signifikanten Effekte zeigen Bonferroni korrigierte Post-Hoc Tests jeweils einen Lernzuwachs vom Prä zum Post Zeitpunkt:

Lösungsbeispiele: $p < .01$, $M_{\text{Diff}} = 24.60$ –CI[20.21, 28.99]

gestufte Lernhilfen: $p < .01$, $M_{\text{Diff}} = 19.15$ –CI[14.52, 23.79]

14.2 Forschungsfrage 2

Zur Klärung der FF 2: „Können anhand der Lernervoraussetzungen sinnvoll interpretierbare Gruppen von Schülerinnen und Schülern identifiziert werden?“, muss geprüft werden, ob sich die S' uS der Interventionsgruppe anhand ihrer Lernervoraussetzungen sinnvoll gruppieren lassen. Dies erfolgt mithilfe einer Clusteranalyse auf Grundlage der erhobenen Lernervoraussetzungen (VKS-Vorwissen, Selbstregulationskompetenz, Selbstkonzept, Lesekompetenz). Durch das Verfahren der Clusteranalyse werden die S' uS in Clustergruppen aufgeteilt, wobei die Unterschiede innerhalb einer Clustergruppe (hier bezogen auf die Lernervoraussetzungen) möglichst gering gehalten und die Unterschiede zwischen den Clustergruppen maximiert werden (Bortz, 2005, S. 571). In Anlehnung an ebd. wird als Methode zur Berechnung der Cluster die Ward-Methode eingesetzt.

14.2.1 Ergebnisse der Clusteranalyse

Ausreißeranalyse

In einem ersten Schritt muss geprüft werden, ob alle S' uS zur Bildung von Clustergruppen herangezogen werden können, oder ob solche existieren, die aufgrund ihres Antwortverhaltens die Clusterung maßgeblich erschweren und daher aus der Clusteranalyse ausgeschlossen werden sollten.

Bei der angewendeten Ausreißeranalyse handelt es sich um eine hierarchische Clusterung unter Betrachtung des nächsten Nachbarn (single linkage) und der quadrierten euklidischen Distanz, die mit den Daten aller S' uS aus der Interventionsgruppe durchgeführt wurde. Die nachstehende Abbildung zeigt den im Hinblick auf Ausreißer relevanten Teil des Dendogramms dieser Analyse (Abb. 14.2).

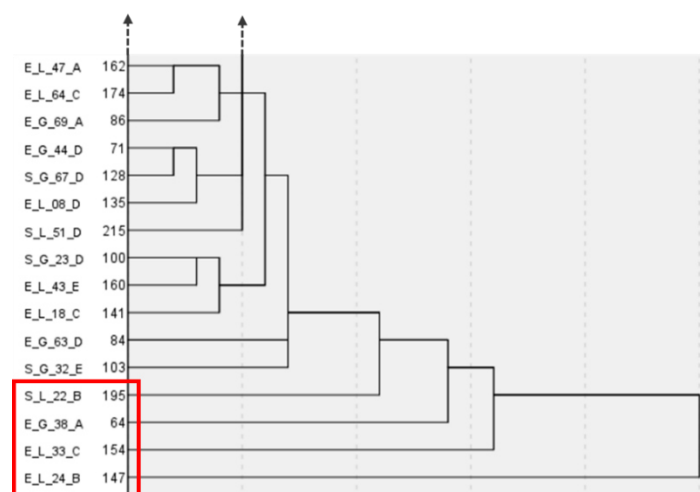


Abb. 14.2: Teilweises Dendogramm der Ausreißeranalyse

Es zeigt sich, dass die Fälle in dem eingezeichneten Kasten (vgl. Abb. 14.2) nur schwer in einer Clustergruppe verortet werden können. Diese S' uS zeichneten sich z.B. aus durch unklares Antwortverhalten wie Mehrfachauswahl bei single-choice Items. Eventuell könnte dies auf ein Missverständnis der Aufgabenstellung hindeuten. Ebenfalls konnte auch massives Fehlen von Antworten, z.B. im Lesetest, festgestellt werden. Ursache dafür könnte ein nicht ernsthaftes Bearbeiten des Tests sein. Daher wurde entschieden, diese Fälle aus der weiteren Clusteranalyse auszuschließen, womit sich die Anzahl der in die weitere Analyse einfließenden Datensätze von 188 auf 184 reduziert.

Bestimmung der Clusterzahl

Die verbleibenden S' uS wurden anhand der erhobenen Lernervoraussetzungen mithilfe einer Clusteranalyse nach der Ward-Methode in unterschiedliche Clustergruppen eingeteilt. Die Clusteranalyse lieferte folgendes Dendrogramm (Abb. 14.3).

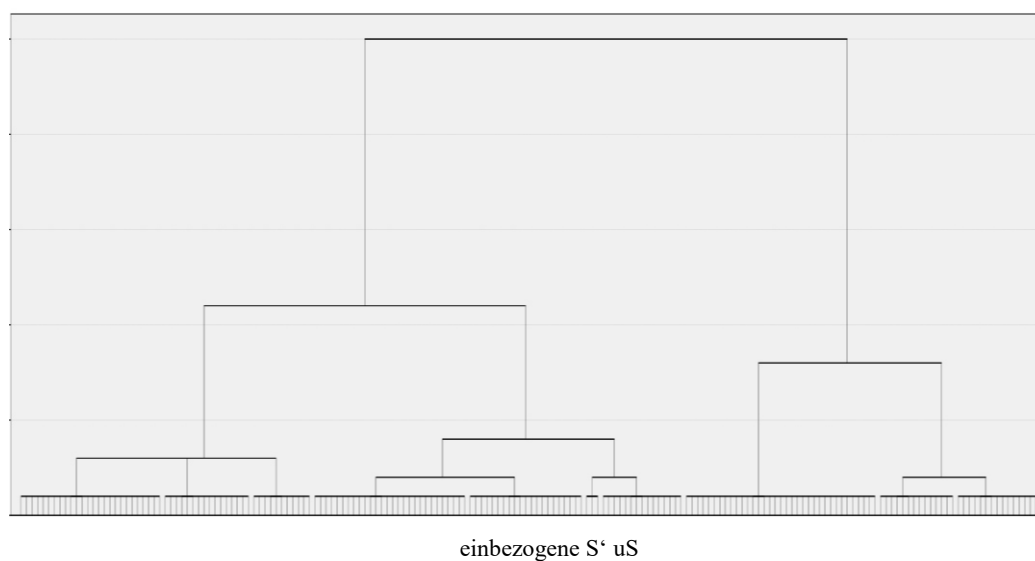


Abb. 14.3: Dendrogramm der Clusteranalyse (Ward-Methode) nach den Lernervoraussetzungen

Aus diesem Dendrogramm lassen sich mögliche Clusterungen ableiten. Allerdings muss für eine Auswertung die Anzahl der Cluster eingeschränkt werden. Hierzu wurden das Elbow-Kriterium und der Test von Mojena herangezogen. Die Berechnung der nötigen Kennwerte und die Darstellung der Diagramme erfolgte über EXEL 2016. Die zugrundeliegende Datei findet sich Anhang D (Datensätze). Zur Bestimmung einer sinnvollen Anzahl von Clustergruppen mittels des Elbow-Kriteriums werden die durch die Clusteranalyse ausgegebenen Koeffizienten über

den möglichen Clustergruppen aufgetragen (Abb. 14.4). An der Stelle, an der die Kurve einen Knick aufweist (Kasten; Abb. 14.4), findet sich die wahrscheinlichste Anzahl von Clustergruppen (König, 2020).

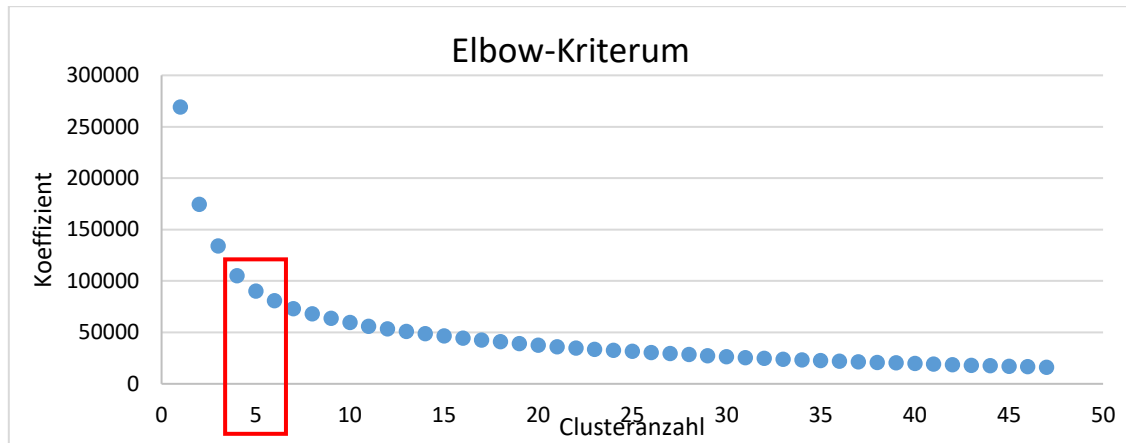


Abb. 14.4: Auszug des Diagramms zur Bestimmung des Elbow-Kriteriums

Nach dem Elbow-Kriterium zeigt sich, dass die wahrscheinlichste Anzahl von Clustergruppen im Bereich um die fünf Clustergruppen liegt. Zur weiteren Orientierung wurde der Test von Mojena herangezogen. Zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Clusterzahl wird, auf Grundlage der durch die Clusteranalyse ausgegebenen Koeffizienten, der Wert $\tilde{\alpha}$ berechnet. Es gilt, dass die wahrscheinlichste Clusteranzahl dann vorliegt, wenn $\tilde{\alpha}$ den Schwellenwert von 2,75 überschreitet (vgl. König, 2020). Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug der Gegenüberstellung der Anzahl der Clustergruppen sowie der jeweiligen $\tilde{\alpha}$ Werte (vgl. Tab. 14.6). Die zur Berechnung des Elbow-Kriteriums und des Tests von Mojena verwendeten EXEL-Dateien finden sich im Anhang D (Datensätze).

Tab. 14.6: Ausschnitt der Darstellung des Tests von Mojena

$\tilde{\alpha}$	Anzahl Clustergruppen
1,76	8
1,92	7
2,18	6
2,49	5
2,99	4
3,95	3
5,30	2
8,45	1

Die obige Tabelle zeigt bei dem Sprung von fünf zu vier Clustergruppen, dass der Schwellenwert von 2,75 überschritten wird.

Sowohl die Unterteilung der Teilnehmer in fünf als auch in vier Clustergruppen wurde hinsichtlich ihrer Interpretierbarkeit untersucht.

Es zeigte sich, dass die Unterteilung in vier Clustergruppen eine sinnvollere Interpretation und Zuordnung der Lernervoraussetzungen zuließ, weshalb sich für die Clusterung in vier Clustergruppen entschieden wurde. Die Ergebnisse dieser Clusterung finden sich im folgenden Unterkapitel.

Ergebnisse zu FF 2

Das Ergebnis der Clusterung anhand der Lernervoraussetzung in vier Clustergruppen ist in Abb. 3.1 dargestellt. Die Abbildung veranschaulicht die jeweilig erreichten prozentualen Ergebnisse der eingesetzten Tests für die einzelnen Lernervoraussetzungen.

Insgesamt zeigen alle Gruppen ein hoch ausgeprägtes Selbstkonzept (75%-100%). Ein ähnliches Bild ergibt sich bezogen auf die Lesekompetenz. Auch hier erreichen alle Clustergruppen Werte über 50%. Deutlichere Unterschiede liegen in der Ausprägung des vorhandenen Vorwissens und der Selbstregulation. Unterschiede in diesen beiden Variablen ermöglichen auch eine klare Unterscheidung zwischen den Gruppen. Eine Clusterung nur aufgrund dieser beiden Variablen führte allerdings nicht zu gut interpretierbaren Clustergruppen.

Im Folgenden werden, zu klaren Unterscheidung der Clustergruppen, deren Alleinstellungsmerkmale beschrieben:

Clustergruppe 1 (lila, links außen):

Diese Clustergruppe ($N_{\text{Gesamt}}=53$; $N_{\text{Lösungsbeispiele}}=27$; $N_{\text{gestufte Lernhilfen}}=26$) zeichnet sich durch ein, im Vergleich zu den Gruppen 3 und 4, niedriges Vorwissen aus. Für alle anderen drei Lernervoraussetzungen werden durch die S' uS dieser Gruppe allerdings hohe Testergebnisse erreicht.

Clustergruppe 2 (blau, zweite von links):

Clustergruppe 2 ($N_{\text{Gesamt}}=67$; $N_{\text{Lösungsbeispiele}}=35$; $N_{\text{gestufte Lernhilfen}}=32$) zeigt in allen Lernervoraussetzungen die niedrigste Ausprägung der erreichten Testwerte im Vergleich zu den anderen Clustergruppen. Insbesondere im Vorwissen erreicht diese Gruppe nur niedrige Werte von ca. 15%-25%.

Clustergruppe 3 (grau, zweite von rechts):

In dieser Clustergruppe ($N_{\text{Gesamt}}=29$; $N_{\text{Lösungsbeispiele}}=17$; $N_{\text{gestufte Lernhilfen}}=12$) zeigt sich ein niedriges Selbstkonzept im Vergleich zu den Gruppen 1 und 4. Ansonsten erreichen die S' uS hohe Testergebnisse bei den übrigen erhobenen Lernervoraussetzungen.

Clustergruppe 4 (grün, rechts außen):

Diese Clustergruppe ($N_{\text{Gesamt}}=35$; $N_{\text{Lösungsbeispiele}}=21$; $N_{\text{gestufte Lernhilfen}}=14$) zeigt in allen erhobenen Lernervoraussetzungen die höchsten Ausprägungen.

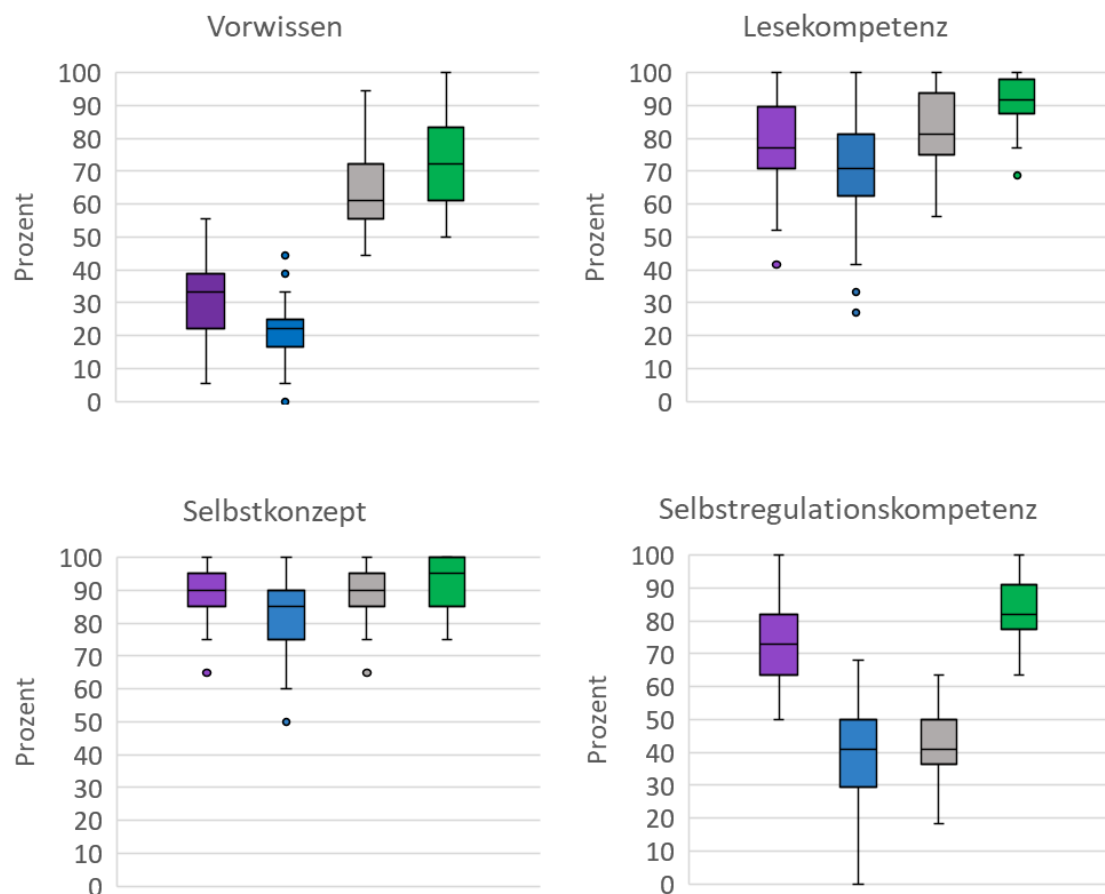


Abb. 14.5: Box-Plots der Interventionsgruppe zur Clusterung nach Lernervoraussetzungen (lila: Clustergruppe 1; blau: Clustergruppe 2; grau: Clustergruppe 3; grün: Clustergruppe 4)

14.3 Forschungsfrage 3

Varianzanalyse zur Klärung der FF 3

Zur Klärung der FF 3: „*Profitieren Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichen Lernervoraussetzungen verschieden von dem Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen beim Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten?*“ soll der Lernzuwachs über den Interventionszeitraum von S‘ uS unterschiedlicher Clustergruppen unter Berücksichtigung der bearbeiteten Unterstützungsangebote (Lösungsbeispiel oder gestufte Lernhilfen) verglichen werden.

Zur Beantwortung der Fragestellung soll eine ANOVA mit Messwiederholung herangezogen werden. Hierfür müssen wiederum die Voraussetzungen geprüft werden. Da die Daten für Lesekompetenz, Selbstregulationskompetenz und Selbstkonzept maßgeblich zur Bildung der Cluster beigetragen haben, ist anzunehmen und erwünscht, dass sich die Clustergruppen hinsichtlich dieser Variablen voneinander unterscheiden. Daher fließen in die Prüfung der Voraussetzungen einer ANOVA zunächst nur die Vortest- und Nachtestdaten ein. Bei positiver Prüfung gehen in die ANOVA, wie gehabt, als Innersubjektfaktor die Erhebungszeit ein und als Zwischensubjektfaktoren die jeweilige Clustergruppe sowie das bearbeitete Material (Lösungsbeispiele oder gestufte Lernhilfen).

Findet sich eine Interaktion Zeit*Clustergruppe*Material, kann daraus geschlossen werden, dass Clustergruppen existieren, in denen S‘ uS verschieden stark von den bearbeiteten Materialien profitieren. Sollten solche Clustergruppen existieren bei denen die Materialwahl das Lernen verschieden beeinflusst, werden diese Clustergruppen einzeln hinsichtlich der Lernwirksamkeit der Materialien mit Varianzanalysen untersucht. Für die richtige Einordnung eines solchen Ergebnisses muss hier angemerkt werden, dass durch die Clusteranalyse Clustergruppen so erstellt werden, dass jeweils S‘ uS mit ähnlichen Lernvoraussetzungen in derselben Clustergruppe sind. In dieser Studie ist aber nicht gewährleistet, dass die S‘ uS innerhalb jeder Clustergruppe gleichermaßen nach ihren Fähigkeiten auch auf die Materialgruppen „gestufte Lernhilfen“ und „Lösungsbeispiele“ aufgeteilt sind. Aus diesem Grund müssen hier, wie in den vorherigen Datenanalysen (z.B. Kap. 14.1), innerhalb einer Clustergruppe die beiden Materialgruppen auf Vergleichbarkeit geprüft werden. Mögliche Unterschiede müssen in der Ergebnisinterpretation mit beachtet werden

Findet sich keine Interaktion Zeit*Clustergruppe*Material, sind die eingesetzten Angebote über alle Clustergruppen hinweg gleichermaßen lernwirksam.

14.3.1 Ergebnisse zu FF 3

Für die Beantwortung der Forschungsfrage soll eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung herangezogen werden. Bevor diese durchgeführt wird, muss zunächst geprüft werden, ob die einbezogenen Daten (Ergebnisse des Vortests und des Nachtests) den Voraussetzungen für eine solche Analyse (Normalverteilung und Varianzhomogenität) genügen (vgl. Tab. 14.7 & Tab. 14.8).

Tab. 14.7: Kolmogorov-Smirnov-Test zur Prüfung der Normalverteilung über alle Cluster

Cluster	p-Werte Lösungsbeispiel		p-Werte gestufte Lernhilfen	
	Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest
1	.079	.200	.200	.055
2	.078	.020	.001	.031
3	.016	.035	.200	.115
4	.200	.003	.113	.013

Tab. 14.8: Levene-Test zur Prüfung der Varianzhomogenität über alle Cluster

Unterstützungs- angebot	p-Werte Vortest		p-Werte Nachtest	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Lösungsbeispiel	.285	.336	.001	.001
Gestufte Lernhilfen	.009	.027	.001	.003

Der Kolmogorov-Smirnov-Tests (Tabelle 14.7) zeigte eine Verletzung der Normalverteilung vor allem in den Ergebnissen des Nachtests auf.

Des Weiteren zeigen die Levene-Tests in Tabelle 14.8 eine Verletzung der Varianzhomogenität. Daher wurde mithilfe des $F_{\max}$ -Tests geprüft, ob das Signifikanzniveau angepasst werden muss. Der Schwellenwert von 10 wird nicht überschritten. Demzufolge musste das Signifikanzniveau nicht angepasst werden.

Es sei angemerkt, dass die angegebenen Daten nicht Bonferroni korrigiert wurden. Mit Durchführung der Korrektur würden die Verletzungen weiter reduziert werden. Deswegen und da keine der Clustergruppen oder der in den Clustern enthaltenen Materialgruppen weniger als 10 Personen umfasst, wurde entschieden, die dreifaktorielle Varianzanalyse wie geplant umzusetzen.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung bezüglich der Interaktion Zeit*Cluster*Material zeigte folgendes Ergebnis:

$$F(3,176) = 4.041, p = .008$$

Demnach existiert mindestens eine Clustergruppe, in der die S' uS, je nach den Materialien, mit denen sie gearbeitet haben, unterschiedlich dazulernten.

Für welche Clustergruppe dies zutrifft, soll mit weiteren Varianzanalysen aufgeklärt werden. Hierzu wurde für jede Clustergruppe das in Abb. 12.1 dargestellte Schema durchlaufen. Nach der positiven Prüfung der Voraussetzungen wurde für alle Clustergruppen die Interaktion Zeit*Material untersucht (Tab. 14.9).

Tab. 14.9: Ergebnisse der Varianzanalysen mit Messwiederholung zur Untersuchung der Forschungsfrage 3

Clustergruppe	Faktoren	Freiheitsgrade	F-Wert	p
1	Zeit*Material (Lb/gL)	1, 51	1.212	.276
2		1, 65	9.671	.003
3		1, 27	.128	.723
4		1, 33	2.701	.110

Die Analysen zeigten, dass nur für Clustergruppe 2 eine Interaktion (Zeit*Material) vorliegt. Dies lässt darauf schließen, dass in dieser Clustergruppe eine Materialgruppe der anderen überlegen ist. Deswegen wird im Folgenden für diese Clustergruppe das Vorgehen nochmals detailliert dargestellt.

Vorgehen Datenanalyse Clustergruppe 2

Wie oben beschrieben, wird durch die Clusterung nur festgelegt, dass S' uS mit ähnlichen Lernervoraussetzungen dem gleichen Cluster zugeordnet werden. Daraus folgt jedoch nicht, dass innerhalb eines Clusters die S' uS gleichmäßig anhand ihrer Lernervoraussetzungen auf die Materialgruppen aufgeteilt sind. Daher wird im Folgenden untersucht, ob die beiden Materialgruppen in der Clustergruppe 2 vergleichbar sind. Das Vorgehen entspricht dem Vorgehen bei Forschungsfrage 1. Die deskriptive Analyse der vorliegenden Daten der Clustergruppe 2 zeigt folgendes Ergebnis (Tab. 14.10), aufgeteilt nach der jeweiligen Materialgruppe:

Tab. 14.10: Deskriptive Ergebnisse der Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen
* angegeben sind Mittelwerte, in Klammern die Standardabweichung und in kursiv die Varianzen

Variable	Lösungsbeispiele	gestufte Lernhilfen
N	35	32
Prozent VKS-Test (Prä)*	17,0 (10,6; 112,5)	22,6 (7,0; 49,7)
Prozent Lesekompetenztest*	70,0 (16,1; 259,2)	69,0 (15,1; 228,0)
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz*	83,0 (12,7; 162,1)	81,9 (9,3; 86,7)
Prozent Fragebogen Selbstkonzept*	40,5 (15,8; 248,4)	23,1 (14,4; 206,3)

Der **Kolmogorov-Smirnov-Test** zeigt eine Verletzung der Normalverteilung für einige Lernervoraussetzungen insb. in der Materialgruppe „gestufte Lernhilfen“ (vgl. Tab. 14.11). Diese Verletzungen würden auch nach einer Bonferroni-Korrektur weiterbestehen.

Tab. 14.11: Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov- Tests für die Lernervoraussetzungen der Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen

Variable	p-Werte Kolmogorov-Smirnov-Test	
	Lösungsbeispiele	gestufte Lernhilfen
Prozent VKS-Test (Prä)	.08	<.01
Prozent Lesekompetenztest	.16	.20
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.17	<.02
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.02	<.01

Der **Levene-Test** zeigt eine Verletzung der Varianzhomogenität bei der Selbstregulationskompetenz (Median) (vgl. Tab. 14.12). Bei einer Korrektur nach Bonferroni wäre dieser Wert an der Grenze zur Signifikanz. Aus diesem Grund wird der $F_{\max}$ -Test herangezogen. Der $F_{\max}$ -Test zeigt einen Wert von 1,9 und liegt damit unter dem Schwellenwert von 10. Daher muss das Signifikanzniveau nicht angepasst werden (vgl. Kap. 12.1).

Tab. 14.12: Ergebnisse des Levene- Tests für die Lernervoraussetzungen der Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen

Variable	p-Werte Levene-Test	
	Basierend auf Mittelwert	Basierend auf Median
Prozent VKS-Test (Prä)	.064	.065
Prozent Lesekompetenztest	.840	.912
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.006	.011
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.648	.516

Das Ergebnis der multivariaten Varianzanalyse unter Einbezug aller Lernervoraussetzungen zeigt keinen Unterschied zwischen den beiden Materialgruppen innerhalb der Clustergruppe 2 auf.

$$F(4,62)=1.985, p=.108$$

Aufgrund der Verletzungen der Bedingungen für die Durchführung von Varianzanalysen wird zusätzlich der Mann-Whitney-U-Test als nicht parametrisches Verfahren zum Vergleich herangezogen.

Hierbei liefern die Kennwerte des Mann-Whitney-U Tests – auch nach Bonferroni-Korrektur - einen Hinweis auf einen Unterschied zwischen den Materialgruppen bzgl. ihrer VKS-bezogenen Fähigkeiten (vgl. Tab. 14.13).

Tab. 14.13: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests der Clustergruppe 2 zur Vergleichbarkeit der Materialgruppen

Variable	p- Wert Mann-Whitney-U-Test
VKS bezogenes Vorwissen (Prozent VKS-Test Prä)	.012
Prozent Lesekompetenztest	.797
Prozent Fragebogen Selbstregulationskompetenz	.573
Prozent Fragebogen Selbstkonzept	.596

Aufgrund der ausreichenden Gruppengröße wurde trotz dieser Verletzung entschieden, eine multivariate Varianzanalyse zum Gesamtvergleich der beiden Materialgruppen durchzuführen. Der aufgezeigte Unterschied der Lernervoraussetzungen muss bei der Interpretation der Ergebnisse aber mit bedacht werden.

Da für den Prä-Post Vergleich die Werte des Nachtests herangezogen werden, müssen diese ebenfalls auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft werden.

VKS-Posttest (Cluster 2 Lösungsbeispiele): Kolmogorov-Smirnov-Test: $p=.020$

VKS-Posttest (Cluster 2 gestufte Lernhilfen): Kolmogorov-Smirnov-Test: $p=.031$

Levene (Median): $p=.014$

Levene (Mittelwert): $p=.005$

Die Daten sind demnach nicht normalverteilt. Ebenfalls zeigen sie keine Varianzhomogenität. Daher muss der $F_{\max}$ -Test durchgeführt werden. Dieser zeigt keine Überschreitung des Schwellenwerts, somit muss das Signifikanzniveau nicht angepasst werden. Aufgrund der ausreichenden Gruppengröße (LB: 35 / gL 32) wurde entschieden, den Vergleich wie geplant durchzuführen.

Wie geplant wurde eine messwiederholte ANOVA zum Vergleich des Lernzuwachses beider Materialgruppen der Clustergruppe herangezogen. Die ANOVA zeigt das bereits in Tab. 14.9 vorgestellte Ergebnis:

Clustergruppe 2: $F(1,65) = 9.671, p = .003$

Dies belegt, dass es einen signifikanten Einfluss auf den Lernzuwachs der S' uS in Clustergruppe 2 hat, ob die S' uS mit Lösungsbeispielen oder gestuften Lernhilfen gearbeitet haben. Verdeutlicht wird dieser Unterschied auch durch das Interaktionsdiagramm.

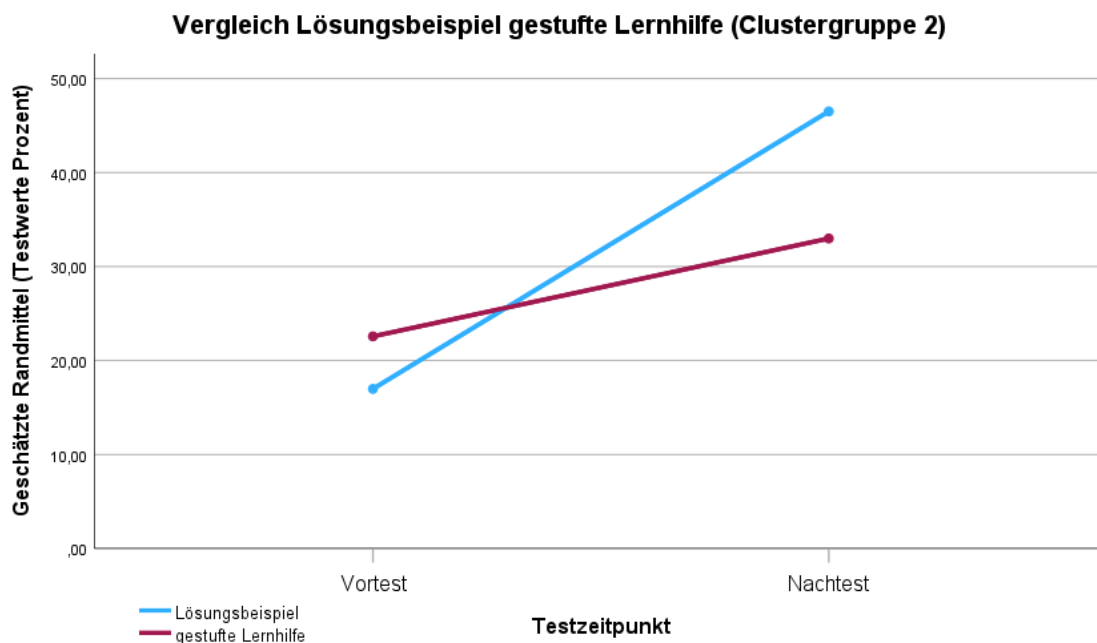


Abb. 14.6: Interaktionsdiagramm Zeit*Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen

Durch das Diagramm wird ebenfalls deutlich, dass durch Zufall diejenigen S' uS mit sehr niedrigem Vorwissen in der Materialgruppe „Lösungsbeispiele“ verortet sind. Einen ersten Hinweis auf eine solche ungleichmäßige Aufteilung lieferten bereits die Werte des Mann-Whitney-U Tests.

Der unterschiedliche Lernerfolg der beiden Materialgruppen wird im Folgenden durch einen Prä-Post Vergleich mittels einfaktoriellen Varianzanalysen, getrennt für beide Materialgruppen der Clustergruppe 2, nachgegangen. Für beide einzelnen Gruppen zeigte sich jeweils ein signifikanter Effekt der Zeit (vgl. Tab. 14.4).

Tab. 14.14: Ergebnisse einzelner Varianzanalysen innerhalb Clustergruppe 2 für gestufte Lernhilfen und Lösungsbeispiele mit Messwiederholung zur Untersuchung der Forschungsfrage 3

Effekt	Faktoren	Freiheits- grade	F- Wert	p	η_p^2
Haupteffekt (Lösungsbeispiele)	Zeit	1, 34	36.08	<.01	.515
Haupteffekt (gestufte Lernhilfen)	Zeit	1, 31	8.77	<.01	.221

Dies bedeutet, dass beide Materialgruppen durch die Arbeit mit den Materialien signifikant dazulernen. Bonferroni korrigierte Post-Hoc Tests zeigen einen größeren Lernzuwachs für diejenigen S' uS, die mit Lösungsbeispielen gearbeitet haben, als für diejenigen, die mit gestuften Lernhilfen arbeiteten.

Lösungsbeispiele: $p < .01$, $M_{\text{Diff}} = 29.53$ –CI[19.53, 39.51]

gestufte Lernhilfen: $p < .01$, $M_{\text{Diff}} = 10.42$ –CI[3.24, 17.59]

14.3.2 Beantwortung der FF 3

Die gezeigten Ergebnisse lassen folgende Antwort für die FF 3 zu:

Der Vergleich der Clustergruppen zeigt unterschiedliche Lernwirksamkeit bzgl. der verwendeten Materialien nur für Clustergruppe 2. Die darin zusammengefassten S' uS profitierten stärker von dem Lernen mit Lösungsbeispielen als von dem Arbeiten mit gestuften Lernhilfen. In allen anderen Clustergruppen konnten keine Unterschiede bzgl. der Lernwirksamkeit zwischen den Materialien festgestellt werden. Bezüglich der Ergebnisse von Forschungsfrage 3 zeigt ein genauerer Blick in die Daten, dass in Clustergruppe 2, deren S' uS sich ohnehin durch geringes Vorwissen auszeichnen, vermehrt S' uS mit besonders niedrigem Vorwissen zufällig der Materialgruppe mit Lösungsbeispielen zugeordnet wurden. Dies wird in der folgenden Diskussion aufgenommen

14.4 Diskussion zu den Forschungsfragen

Durch die Bearbeitung des Forschungsziels soll aufgeklärt werden, inwieweit die entwickelten Unterstützungsangebote unter Berücksichtigung der erhobenen Lernervoraussetzungen zur Förderung der VKS-bezogenen Fähigkeiten geeignet sind.

Der Vergleich der Materialgruppen „Lösungsbeispiele“ und „gestufte Lernhilfen“ zeigt auf, dass beide Materialien lernwirksam sind. Allerdings konnte, unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller S' uS, kein Unterschied in der Lernwirksamkeit der beiden Materialien aufgezeigt werden. Dieses Ergebnis stützt die veröffentlichten Ergebnisse, in denen bei einem Vergleich von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen bei der Vermittlung physikalischer Inhalte im Sek I Bereich, ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Lernwirksamkeit aufgezeigt werden konnten (Schmidt-Borcherding et al., 2013). Für die Erhebung der Lernwirksamkeit wurden sowohl schriftliche als auch hands-on-Items eingesetzt. Um diese Ergebnisse weiter abzusichern, wäre es wünschenswert, die hands-on Items des Tests näher in den Blick zu nehmen. So zeigte das INA Lücken in der Absicherung der Validität der Interpretation der Testwerte bzgl. der hands-on Items auf. Diese könnte z.B. durch den Vergleich mit anderen VKS-Tests mit hands-on Anteilen geschlossen werden, um auch bzgl. dieser Itemkategorien belastbare Aussagen in der INA treffen zu können. Dies konnte allerdings in der vorliegenden Studie, aufgrund zu dieser Zeit fehlender vergleichbarer Tests, nicht umgesetzt werden.

Um zu prüfen, ob bei Berücksichtigung der ebenfalls erhobenen Lernervoraussetzungen die Unterstützungsmaterialien verschieden lernwirksam sind, wurden die S' uS anhand ihrer Lernvoraussetzungen mithilfe einer Clusteranalyse Clustergruppen zugeordnet. Es wurden Clustergruppen mit S' uS mit ähnlichen Lernervoraussetzungen gefunden, die eindeutig beschrieben und voneinander abgegrenzt werden können. Es ist allerdings festzuhalten, dass im Bereich des Selbstkonzepts und der Lesefähigkeit in allen Clustergruppen gute bis sehr gute Ergebnisse bzw. Antwortverhalten festgestellt werden konnten. Gerade im Bereich des Selbstkonzepts kann aufgrund der recht jungen Testpersonen eine Selbstüberschätzung (Deckeneffekt) vorliegen. Dies hätte ggf. durch eine Einschätzung durch die unterrichtenden Lehrkräfte ausgeschlossen werden können. Trotzdem ist eine sinnvolle Interpretation der Clustergruppen möglich. Der Frage, inwieweit diese Clustergruppen unterschiedlich von dem Lernen mit den verschiedenen Interventionsmaterialien (Lösungsbeispiele / gestufte Lernhilfen) profitieren, wurde in der folgenden Analyse nachgegangen. Es zeigte sich, dass nur für die Clustergruppe 2 die Wahl

des Materials zu unterschiedlichem Lernerfolg führte. In dieser Gruppe erreichten die S' uS, die mit Lösungsbeispielen arbeiteten, einen höheren Lernerfolg als diejenigen, denen gestufte Lernhilfen zur Verfügung standen. Für alle anderen Clustergruppen waren die Materialien gleichermaßen lernwirksam.

Bei diesem Ergebnis muss allerdings mitbedacht werden, dass keine Zuordnung anhand der Lernervoraussetzung zu den Materialgruppen „Lösungsbeispiele“ und „gestufte Lernhilfen“ stattfand. So sind in der Clustergruppe 2 die S' uS mit dem geringsten Vorwissen durch Zufall in der Materialgruppe „Lösungsbeispiele“ verortet. Dass diese S' uS insbesondere durch die Arbeit mit Lösungsbeispielen profitieren, konnte bereits durch andere Forschungsarbeiten aufgezeigt werden (Kap. 4).

Diesem Problem hätte entgegengewirkt werden können, wenn der Vortest in größerem zeitlichem Abstand zur Intervention durchgeführt worden wäre und so im Vorhinein hätte ausgewertet werden können. Anschließend hätte die Aufteilung auf die Materialgruppen anhand der Vortestergebnisse stattfinden können. Dadurch hätten möglichst heterogene Materialgruppen, zumindest bezüglich des Vorwissens, gebildet werden können.

15 Zusammenfassung und Ausblick

15.1 Zusammenfassung der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit soll die Förderung VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule beforscht werden. Aufgrund der Forschungslage liegt in dieser Arbeit das Augenmerk auf der Frage, welche Unterstützungsangebote für welche S' uS aufgrund ihrer individuellen Lernvoraussetzungen am besten geeignet sind. Dies führt zu dem Forschungsziel der Arbeit (Kap. 5):

Empirischer Vergleich der Lernwirksamkeit von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen zum Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule unter Berücksichtigung verschiedener Lernvoraussetzungen.

Ausgehend von diesem Ziel wird in dieser Arbeit der Weg von theoretischen Überlegungen über die Entwicklung geeigneter Materialien, Einsatz der Materialien, Auswertung der mithilfe der Materialien erhobenen Daten bis zur abschließenden Klärung, inwieweit das gesetzte Ziel erreicht wurde, dargestellt.

Da diese Arbeit VKS-bezogene Fähigkeiten in den Blick nimmt, muss dieser Begriff näher gefasst werden, ebenso wie die mit der VKS verknüpfte Begrifflichkeit des naturwissenschaftlichen Experiments. Eine Klärung der Begrifflichkeiten findet sich in den Kapiteln 2 und 3. In dieser Arbeit wird das Experiment als ein Kreislauf, bestehend aus den Phasen der Planung, Durchführung und Auswertung, angesehen. Die Methode der VKS ist dabei in allen Phasen verortet. Dadurch soll garantiert werden, dass aus Experimenten aussagekräftige Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Die Studienlage zu VKS-bezogenen Fähigkeiten zeigt, dass sowohl der Erwerb solcher Fähigkeiten als auch deren Umsetzung im Experiment mit Schwierigkeiten belastet ist (Kap. 3). Hieraus lässt sich ableiten, dass die S' uS Unterstützung beim Erwerb und der Umsetzung VKS bezogener Fähigkeiten bedürfen.

Die VKS ist bereits durch diverse Studien in den Blick genommen worden und es wurden unterschiedliche Aspekte der Vermittlung der VKS beforscht. Meist bezog sich diese Forschung allerdings auf ältere S' uS der weiterführenden Schulen. Im Bereich der Grundschule sind weniger Studien angesiedelt. In Bezug auf den Einsatz differenzierter Unterstützungsangebote in der Grundschule konnten keine

Forschungsarbeiten gefunden werden. Ebenso wenig wie Aussagen dazu, ob bestimmte Unterstützungsangebote für bestimmte Gruppen von S' uS hilfreicher sind als andere. Aber gerade der Einsatz solcher Materialien erscheint vor dem Hintergrund heterogener Klassen als sinnvoll. Als geeignete Unterstützungsangebote wurden das Lernen mit Lösungsbeispielen und das Lernen mit gestuften Lernhilfen identifiziert (Kap. 4).

Aufgrund der Gestaltung dieser Unterstützungsangebote wurde eine Auswahl an Lernervoraussetzung abgeleitet, die die Wirksamkeit der Lernhilfen beeinflussen könnten (vgl. Kap. 4).

Um das Forschungsziel zu erreichen, muss zunächst geklärt werden, ob es möglich ist, lernwirksame Unterstützungsangebote zum Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten für den Bereich der Grundschule zu entwickeln, die in einer Intervention eingesetzt werden können. Aufgrund dieser Überlegungen ergibt sich folgendes Entwicklungsziel der vorliegenden Arbeit (Kap. 5):

Entwicklung vergleichbarer Interventionsmaterialien, die auf Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen basieren und den Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten fördern.

Um dieses Entwicklungsziel zu bearbeiten, wurden zunächst Interventionsmaterialien in Form von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen entwickelt.

Um die Wirksamkeit der Materialien zu untersuchen, mussten diese in einer entsprechend angelegten Interventionsstudie eingesetzt werden. Dazu wurden die S' uS verschiedenen Materialgruppen zugeteilt. Die eine Materialgruppe arbeitete ausschließlich mit Materialien in Form von Lösungsbeispielen, die andere mit Materialien in Form von gestuften Lernhilfen (Kap. 6).

Um beide Angebote Materialien (Lösungsbeispiele / gestufte Lernhilfen) möglichst vergleichbar zu gestalten, wurden zunächst die Materialien zu den Lösungsbeispielen entwickelt. Aus diesen wurden im Anschluss die Materialien zu den gestuften Lernhilfen abgeleitet. Die Strukturierung der Materialien erfolgte entsprechend der Phasierung des Experimentierprozesses (Planung, Durchführung, Auswertung).

Sowohl die Entwicklung als auch die genaue Gestaltung der Interventionsmaterialien sowie Unterschiede zwischen den beiden Materialien werden in Kapitel 7 beschrieben.

Um zu prüfen, ob das Entwicklungsziel erreicht wurde, mussten die VKS-bezogenen Fähigkeiten vor und nach dem Bearbeiten der Interventionsmaterialien gemes-

sen und verglichen werden. Dazu wurde ein entsprechendes Testinstrument entwickelt. Die Entwicklung des Testinstruments zur Erfassung der VKS wurde in Form eines INA in Kap. 8 dargestellt. Durch das INA wird transparent gemacht, in welchen Schritten der Entwicklung Probleme aufgetreten sind, die bei der späteren Auswertung und Diskussion der Ergebnisse nicht vernachlässigt werden dürfen. In Kap. 8 werden ebenso die weiteren Tests zur Erfassung der unterschiedlichen Lernervoraussetzungen vorgestellt.

Um zu beurteilen, ob das Entwicklungsziel erreicht wurde, muss geprüft werden, ob die gemessenen Lernzuwächse auf das Material zurückgeführt werden können oder auch in der zweimaligen Bearbeitung des Tests begründet sein könnten (Testwiederholungseffekt).

Deshalb wurde neben den S' uS, die mit gestuften Lernhilfen oder Lösungsbeispielen arbeiteten (Interventionsgruppen), auch S' uS untersucht, die keine Interventionsmaterialien bearbeiteten und nur den Test zweimal durchführten (Baselinegruppe).

Informationen zur Aufteilung der S' uS in die Interventionsgruppen und Testgruppen wie auch zur Organisation der Testungstage und Interventionstage finden sich in Kap. 10 und 11.

Die Ergebnisse zur Bearbeitung des Entwicklungsziels zeigen signifikante Lernzuwächse sowohl für die Baselinegruppe als auch für die Interventionsgruppe. Dies legt nahe, dass ein Testwiederholungseffekt durch die zweimalige Bearbeitung des Tests vorliegt.

Des Weiteren zeigt sich, dass die Interventionsgruppe signifikant mehr lernt als die Baselinegruppe.

Ebenfalls konnte aufgezeigt werden, dass die S' uS bei der Bearbeitung der Materialien motiviert und nur gering kognitiv belastet waren, weshalb durch diese Aspekte der Vergleich der beiden Materialien nicht beeinflusst wird. Dies spricht dafür, dass die Materialien bzgl. Motivation und kognitiver Belastung vergleichbar sind.

Dies Ergebnisse wurde dahingehend ausgelegt, dass das Entwicklungsziel erreicht wurde.

Eine umfangreichere Darstellung der Ergebnisse und angewandten Methoden zur Bearbeitung des Entwicklungsziels finden sich in den Kap. 12 und 13.

Zur Bearbeitung des Forschungsziels wurden drei Forschungsfragen beantwortet:

1. *Profitieren Schülerinnen und Schüler verschieden von dem Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen beim Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten?*
2. *Können anhand der Lernervoraussetzungen sinnvoll interpretierbare Gruppen von Schülerinnen und Schülern identifiziert werden?*
3. *Profitieren Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichen Lernervoraussetzungen verschieden von dem Lernen mit Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen beim Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten?*

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden die beiden Interventionsgruppen unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren miteinander verglichen. Eine genauere Darstellung der Ergebnisse und angewandten Methoden finden sich in den Kap. 12 und 14.

Zu Forschungsfrage 1:

Für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurde, nach Prüfung der Vergleichbarkeit der beiden Materialgruppen, untersucht, ob signifikante Unterschiede bezüglich des Lernzuwachses zwischen den beiden Materialgruppen zu finden sind.

Ergebnis:

Es lässt sich festhalten, dass mit beiden Unterstützungsangeboten signifikante Lernzuwächse erreicht werden konnten. Allerdings erscheint keines der beiden Angebote, ohne Beachtung weiterer Faktoren, dem anderen überlegen. Dies spricht dafür, dass das Arbeiten mit beiden Unterstützungsangeboten im gleichen Maße dazu geeignet ist, VKS-bezogene Fähigkeiten zu erwerben.

Zu Forschungsfrage 2:

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurden Lernervoraussetzungen der S' uS herangezogen (Lesekompetenz, Selbstregulationsfähigkeit, Vorwissen, Selbstkonzept), die zum Zeitpunkt des Prä- und des Posttests erhoben wurden.

Ergebnis:

Die Analyse der vorliegenden Daten mittels Clusteranalyse zeigt, dass sich die zweite Forschungsfrage dahingehend beantworten lässt, dass sich die S' uS auf Grundlage der Lernervoraussetzungen in vier sinnvoll interpretierbare Clustergruppen unterteilen lassen. Diese Clustergruppen setzen sich jeweils aus S' uS beider Interventionsgruppen zusammen.

Zu Forschungsfrage 3:

Die bei der Bearbeitung von Forschungsfrage 2 gefundenen Clustergruppen dienen zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage.

Ergebnis: Es konnte gezeigt werden, dass eine der gefundenen Clustergruppen (niedrigste Ausprägung aller erhobenen Lernervoraussetzung) einen signifikant höheren Lernerfolg erzielt, wenn mit Lösungsbeispielen gearbeitet wird. Es scheint also, dass diesen S' uS durch die Bearbeitung von Lösungsbeispielen besonders geholfen wird. Dies deckt sich mit bereits vorhanden Ergebnissen zu der Arbeit mit Lösungsbeispielen (worked example Effekt Kap. 4.1.2).

Für die anderen Clustergruppen konnte aufgezeigt werden, dass beide Angebote zu einem signifikanten Lernzuwachs führen, aber keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Art der Intervention festgestellt werden.

Es lässt sich demzufolge zusammenfassend festhalten, dass die Arbeit mit den entwickelten Interventionsmaterialien es ermöglicht, Lernzuwächse im Bereich der VKS-bezogenen Fähigkeiten zu erreichen. Des Weiteren liefern die Ergebnisse Hinweise darauf, dass S' uS mit verschiedenen Lernervoraussetzungen verschieden von der Arbeit mit Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen profitieren. Damit liefert diese Arbeit einen Beitrag dazu, die beschriebene Forschungslücke im Bereich des Erwerbs von VKS-bezogenen Fähigkeiten in der Grundschule zu schließen.

15.2 Ausblick

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten liefern Aspekte, an denen weitere Studien ansetzen könnten.

Nachdem durch diese Studie aufgezeigt wurde, dass die entwickelten Materialien grundsätzlich den Erwerb von VKS-bezogenen Fähigkeiten ermöglichen, wäre es wünschenswert, Aussagen darüber treffen zu können, ob beide Materialien auch zu einem nachhaltigen Lernerfolg führen. Hier wäre ein Follow-up Test wünschenswert, um entsprechende Daten zu erhalten.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Materialien grundsätzlich zur Förderung experimenteller Kompetenzen geeignet sind. Allerdings sind diese Ergebnisse recht eingeschränkt, da sie sich nur auf die Förderung der VKS beziehen. Deshalb wäre es wünschenswert, in weiteren Studien in den Blick zu nehmen, inwieweit die gefundenen Ergebnisse auch auf andere experimentelle Kompetenzen, wie z.B. den Umgang mit Messdaten, übertragbar sind.

Schaut man in den Schulalltag, stellt sich die Frage, welche Materialien nun am besten eingesetzt werden sollten, um VKS-bezogene Fähigkeiten zu fördern. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass sowohl der Einsatz von gestuften Lernhilfen als auch von Lösungsbeispielen für die meisten S' uS gleichermaßen gut zur Förderung VKS bezogener Fähigkeiten geeignet sind, auch ohne genaue Kenntnis der Lernvoraussetzungen jeder Schülerin und jedes Schülers. Da gerade Lehrerinnen und Lehrer im Grundschulbereich viel Zeit in ihren Klassen verbringen, sind sie wahrscheinlich in der Lage, diejenigen S' uS zu identifizieren, die aufgrund der Ausprägung ihrer Lernvoraussetzungen, den besten Lernerfolg durch das Arbeiten mit Lösungsbeispielen erzielen würden.

Aus der Perspektive der Lehrkräfte wäre es wahrscheinlich interessanter, den Umgang mit den eingesetzten Materialien stärker in den Blick zu nehmen. In dieser Studie wurde allerdings darauf verzichtet, die Qualität der Bearbeitung und den Weg zu Lösungen in den Arbeitsheften genauer in den Blick zu nehmen. So konnte bspw. nicht nachverfolgt werden, welche Lösungen von den S' uS selbst und welche erst nach Durchlesen der Musterlösung entstanden oder korrigiert wurden. Ebenfalls konnte nicht nachvollzogen werden, zu welchem Zeitpunkt welche gestufte Lernhilfe zurate gezogen wurde. Dadurch könnten zum einen Probleme und Hürden beim Umgang mit den Materialien und deren Gestaltung identifiziert werden. Zum anderen könnte aufgezeigt werden, auf welche Teile der Unterstützungs-

angebote der Lernerfolg zurückzuführen ist. Solche Forschungsergebnisse könnten anschließend für die Optimierung der Materialien für den Einsatz im Unterricht genutzt werden.

Die hierfür benötigten Daten könnten durch das Videografieren der S' uS bei der Bearbeitung gewonnen werden. Alternativ könnten die S' uS verschiedene Farben beim Ausfüllen der Arbeitshefte verwenden, um bspw. eigene Formulierungen von den anhand der Musterlösung korrigierten Formulierungen unterscheiden zu können. Solche Ergebnisse könnten des Weiteren verwendet werden, um zu untersuchen, ob die Angebote, wie theoretisch geplant genutzt wurden, oder ob zunächst Trainingseinheiten zum richtigen Umgang nötig sind. Eine Studie könnte in den Blick nehmen, inwieweit solche Trainingseinheiten den Lernerfolg beeinflussen.

Da, wie beschrieben, beide Angebote gleichermaßen lernwirksam sind, könnte eine Anschlussstudie die Entwicklung von kombinierten Lernmaterialien in den Blick nehmen.

In solchen Lernmaterialien könnten die zunächst geschlossenen Lösungsbeispiele, wie in der Literatur beschrieben, immer weiter geöffnet werden (Kap. 4), um schlussendlich in einem Material mit gestuften Lernhilfen aufzugehen. In einer solchen Studie würde dann die Individualisierung des Lernens auf Grundlage der Wahl des Öffnungsgrades der Materialien vorliegen. Hierbei wäre zu überlegen, ob S' uS frei wählen, welchen Öffnungsgrad sie bevorzugen, eine Staffelung vorliegt oder durch die Lehrkraft vorgegeben wird, mit welchem Öffnungsgrad begonnen werden soll.

Auf die Erhebung solcher Daten und Entwicklung solcher gestaffelten Materialien wurde in dieser Studie verzichtet, da zunächst abgesichert werden musste, dass die Lernmaterialien grundsätzlich geeignet sind, den Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten zu fördern.

16 Literaturverzeichnis

- American Educational Research Association; American Psychological Association; National Council on Measurement in Education. (2014). *Standards for educational and psychological testing*. Washington, DC: American Educational Research Association.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21–37.
<https://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0>
- Artelt, C., Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U. et al. (2001). PISA 2000: Zusammenfassung zentraler Befunde.
- Atkinson, R., Derry, S., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, 70(2), 181–214.
- Baum, M. (2007). *Lambacher-Schweizer* (1. Aufl., [Nachdr.]. Stuttgart, Leipzig: Klett.
- Baumann, S. (2014). *Selbständiges Experimentieren und konzeptuelles Lernen mit Beispielaufgaben in Biologie* (BIOLOGIE lernen und lehren, Bd. 8). Zugl.: Universität Duisburg-Essen, Diss., 2013. Berlin: Logos Verl.
- Blanz, M. (2015). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit. Grundlagen und Anwendungen* (1st ed.). Stuttgart: Kohlhammer Verlag. Verfügbar unter:
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=2002189>
- Bohrmann, M. (2017). *Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 235). Berlin: Logos Berlin.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 242 Tabellen* (Springer-Lehrbuch, 6., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- Brandenburger, M., Salim, C. A., Schwichow, M., Wilbers, J. & Mikelskis-Seifert, S. (2022). Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28(1). <https://doi.org/10.1007/s40573-022-00140-x>
- Brell, C. (2008). *Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 74). Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos-Verl.
- Bühler, F. & Burzin, S. (2020). *Fokus Physik* (Nordrhein-Westfalen, [Gymnasium, G9, Neubearbeitung], 1. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (Always learning). München, Harlow, Amsterdam, Madrid, Boston, San Francisco,

- Don Mills, Mexiko City, Sydney: Pearson - Higher Education. Verfügbar unter:
<http://www.socialnet.de/rezensionen/isbn.php?isbn=978-3-8273-7274-1>
- Bullock, M. & Sodian, B. (2003). Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens. In W. Schneider & F. E. Weinert (Hrsg.), *Entwicklung, Lehren und Lernen. Zum Gedenken an Franz Emanuel Weinert* (1. Aufl., S. 75–92). Göttingen u.a.: Hogrefe-Verlag GmbH & Co. KG.
- Burmeister, C. (2014). *Lernen mit biologischen Beispielaufgaben. Individuell und in Dyaden*. Dissertation.
- Catrambone, R. (1996). Generalizing solution procedures learned from examples. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(4), 1020–1031. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.22.4.1020>
- Catrambone, R. & Holyoak, K. J. (1990). Learning subgoals and methods for solving probability problems. *Memory & Cognition*, 18(6), 593–603. <https://doi.org/10.3758/BF03197102>
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal. Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Chi, M. T., 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. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1302_1
- Chomse, A. (2019). *Experimentieren mit bildbasierten Beispielaufgaben im Biologieunterricht*. Dissertation. Logos Verlag Berlin; Universität Duisburg-Essen.
- 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. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.79.4.347>
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Dickhäuser, O. (2006). Fähigkeitsselbstkonzepte. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20(1/2), 5–8. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.20.12.5>
- Dickmann, M. (2016). *Messung von Experimentierfähigkeiten*. Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung des experimentellen Arbeiten. Zur Eignung einer Protokollmethode zur Bewertung von Experimentierprozessen. *MNU*, 65(2), 68–75.
- Eversberg, J. (2018). *Gemeinsamkeiten und Unterschiede zweier schriftlicher Tests zur Variablenkontrollstrategie für die Grundschule*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Franke-Braun, G. (2008). *Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 88). Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2008. Berlin: Logo-Verl.

- Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen - ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In *Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (Lehren - Lernen - Literacy, Bd. 2, S. 27–42). Kassel: Kassel Univ. Press.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts. (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht* (Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Girwidz, R. (2015). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl., S. 193–245). Berlin: Springer Spektrum.
- Gott, R. & Duggan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791–806.
<https://doi.org/10.1080/0950069960180705>
- Götz, T. & Nett, U. Selbstreguliertes Lernen. In T. Götz (Hrsg.), *Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen* (utb-studi-e-book, Bd. 3481, S. 143–183). Stuttgart: UTB; Schöningh.
- Gut, C., Hild, P., Metzger, S. & Tradent, J. (2017). Vorvalidierung des ExKoNawi-Modells. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Zürich 2016* (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik; 37, S. 328–331). Universität Regensburg.
- Gut, C., Metzger, S., Hild, P. & Tardent, J. (2014). Problemtypenbasierte Modellierung und Messung experimenteller Kompetenzen. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (Lehrbuch, S. 121–140). Berlin: Springer.
- Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Blum, S. (2007). Mit gestuften Lernhilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht selbstständig lernen und arbeiten. In K. Rabenstein & S. Reh (Hrsg.), *Kooperatives und selbstständiges Arbeiten von Schülern. Zur Qualitätsentwicklung von Unterricht* (1. Aufl., S. 197–208). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
https://doi.org/10.1007/978-3-531-90418-4_10
- Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. In *Individuelle Förderung durch Innere Differenzierung. Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II* (S. 63–73). Weinheim: Beltz.
- Hänze, M. & Stäudel, L. (2006). Lernen von Physik und Chemie durch Aufgaben mit gestuften Lernhilfen.

- Hartinger, A., Grygier, P., Tretter, T. & Ziegler, F. (2013). *Lernumgebungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren* (Neue Ausg). Kiel: IPN Leibniz-Institut f. d. Pädagogik d. Naturwissenschaften an d. Universität Kiel.
- Haselbeck, H. (2019). *Die Variablenkontrollstrategie in der Grundschule*. Universität München.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 127–139. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z>
- Kalthoff, B. (2019). *Explizit oder implizit? Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*. Universität Duisburg-Essen.
- Kalyuga, S. (2009). The Expertise Reversal Effect. In *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning* (pp. 58–80). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-048-6.ch003>
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351–371. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199908\)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6)
- Kane, M. T. (2013). Validating the Interpretations and Uses of Test Scores. *Journal of Educational Measurement*, 50(1), 1–73. <https://doi.org/10.1111/jedm.12000>
- Kasseler Forschergruppe. (2007). Schritt für Schritt zur Lösung. Differenzierung durch Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik*, 18(99/100), 42–45.
- Kauertz, A., Löffler, P. & Fischer, H. E. (2015). Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl., S. 451–475). Berlin: Springer Spektrum.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1
- Kluczniok, K., Große, C. & Roßbach, H.-G. (2011). Hererogene Lerngruppen in der Grundschule. In W. Einsiedler, M. Götz & F. Heinzel (Hrsg.), *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik* (UTB, Bd. 8444, 1. Aufl., S. 180–186). Stuttgart: UTB.
- Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen*. Dissertation.
- Kölbach, E. (2011). *Kontexteinflüsse Beim Lernen Mit Lösungsbeispielen* (Studien Zum Physik- und Chemielernen Ser, v.123). Berlin: Logos-Verl. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5219593>

- 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. <https://doi.org/10.1002/ckon.201410232>
- König, P. D. (2020). Clusteranalysen. In C. Wagemann, A. Goerres & M. B. Siewert (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Politikwissenschaft* (S. 781–816). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Krause, J. & Grehn, J. (2020). *Metzler-Physik* (5. Aufl.). Braunschweig: Westermann.
- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A., Andersen, C., White, S. H., Klahr, D. et al. (1995). Strategies of Knowledge Acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60(4), 1-157. <https://doi.org/10.2307/1166059>
- Leisen, J. (Hrsg.). (1999). *Methoden-Handbuch Deutschsprachiger Fachunterricht (DFU)*. Bonn: Varus-Verlag.
- Lenhard, W. & Schneider, W. (2006). *Ein Leseverständnistest für Erst- und Sechstklässler. ELFE 1 - 6* (Deutsche Schultests). Göttingen: Hogrefe.
- Lindmeier, A., Ufer, S. & Reiss, K. (2018). Modellieren lernen mit heuristischen Lösungsbeispielen. Interventionen zum selbstständigkeitsorientierten Erwerb von Modellierungskompetenzen. In S. Schukajlow & W. Blum (Hrsg.), *Evaluierte Lernumgebungen zum Modellieren* (Realitätsbezüge im Mathematikunterricht, S. 265–288). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Mackensen-Friedrichs, I. (2004). *Förderung des Expertiseerwerbs durch das Lernen mit Beispielaufgaben im Biologieunterricht der Klasse 9*. Kiel.
- Mayer, D. (2012). *Die Modellierung des wissenschaftlichen Denkens im Grundschulalter*. <https://doi.org/10.5282/EDOC.14497>
- Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2018). Formulierung eines evidenzbasierten Validitätsarguments am Beispiel der Erfassung physikdidaktischer Selbstwirksamkeitserwartungen mit einem neu entwickelten Instrument. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 131–150. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0079-6>
- Ministerium für Schule und Bildung (Hrsg.). (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Biologie* (1. Aufl.). Düsseldorf. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/197/g9_bi_klp_%203413_2019_06_23.pdf
- Ministerium für Schule und Bildung (Hrsg.). (2021). *Lehrpläne für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen. Deutsch Englisch Kunst Mathematik Musik Praktische Philosophie Evangelische Religionslehre Katholische Religionslehre Sachunterricht Sport* (1. Aufl.). Düsseldorf. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_PS/ps_lp_sammelband_2021_08_02.pdf
- Ministerium für Schule und Bildung (Hrsg.). (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Physik* (1. Aufl.). Düsseldorf. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/332/klp_gost_ph_2022_06_07.pdf
- Nerdel. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik*. Springer Berlin Heidelberg.

- Nokes, T. J., Hausmann, R. G. M., van Lehn, K. & Gershman, S. (2011). Testing the instructional fit hypothesis: the case of self-explanation prompts. *Instructional Science*, 39(5), 645–666. <https://doi.org/10.1007/s11251-010-9151-4>
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429–434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paas, F. G. W. C. & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122–133. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.86.1.122>
- Pea, R. D. (2004). The Social and Technological Dimensions of Scaffolding and Related Theoretical Concepts for Learning, Education, and Human Activity. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 423–451.
- 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. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.88.1.144>
- Reed, S. K. & Bolstad, C. A. (1991). Use of examples and procedures in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(4), 753–766. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.17.4.753>
- Renkl, A. (2001). Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen aus Lösungsbeispielen. *Unterrichtswissenschaft*, 29. Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 41–63. <https://doi.org/10.25656/01:7677>
- Renkl, A. (2014). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. *Cognitive Science*, 38(1), 1–37. <https://doi.org/10.1111/cogs.12086>
- Renkl, A., Hilbert, T. & Schworm, S. (2009). Example-Based Learning in Heuristic Domains: A Cognitive Load Theory Account. *Educational Psychology Review*, 21(1), 67–78. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9093-4>
- Renkl, A. & Schworm, S. (2002). Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule. Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (45, S. 259–270). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57–66. <https://doi.org/10.1026//0012-1924.47.2.57>
- Sadava, D. E., Hillis, D. M., Heller, H. C. & Berenbaum, M. (2011). *Biologie* (9. Auflage). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schauble, L., Klopfer, L. E. & Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 859–882. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280910>

- Schmidt-Borcherding, F., Hänze, M., Wodzinski, R. & Rincke, K. (2013). Inquiring scaffolds in laboratory tasks. An instance of a “worked laboratory guide effect”? *European Journal of Psychology of Education*, 28(4), 1381–1395.
<https://doi.org/10.1007/s10212-013-0171-8>
- Schneider, L. (2018). *Überlegungen von Grundschulkindern beim Bearbeiten von Experimentieraufgaben zur Variablenkontrollstrategie*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Schreiber, N. (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 139). Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2012. Berlin: Logos-Verl.
- Schreiber, N. & Gut, C. (2022). Die Validierungspraxis bei hands-on Experimentiertests in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28(1). <https://doi.org/10.1007/s40573-022-00145-6>
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *PhyDid*, 3(8), 92–101.
- Schütte, M., Wirth, J. & Leutner, D. (2010). *Selbstregulationskompetenz beim Lernen aus Sachtexten. Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzstrukturmodells. Projekt Selbstregulationskompetenz*. Beltz. <https://doi.org/10.25656/01:3433>
- Schwichow, M. (2015). *Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht*. Dissertation, Universität Kiel.
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J. & Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students’ skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38(2), 216–237.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1137651>
- Schwichow, M., Christoph, S. & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 68(6), 346–350.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37–63. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.12.001>
- Siler, A. S. & Klahr, D. (2012). Detecting, Callifying an Remedaiting. Children’s explicite an implicit misconceptions about experimental design. In R. W. Proctor & E. J. Capaldi (Eds.), *Psychology of science. Implicit and explicit processes* (S. 137–180). New York: Oxford Univ. Press.
- Stark, R., Flender, J. & Mandl, H. (2001). *Lösungsbeispiel "pur" oder "angereichert"? Bedingungen und Effekte erfolgreichen Lernens mit einem komplexen Lösungsbeispiel im Bereich empirischer Forschungsmethoden und Statistik*.
<https://doi.org/10.5282/UBM/EPUB.254>
- Stiensmeier-Pelster, J. (Hrsg.). (2003). *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (Tests und Trends, N.F., 2). Göttingen: Hogrefe.

- Stiller, C. & Wilde, M. (2021). Einfluss gestufter Lernhilfen als Unterstützungsmaßnahme beim Experimentieren auf den Lernerfolg im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(3), 743–763. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01017-4>
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D. & La Noto Diega, R. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis* (1. Aufl. 2019). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1495943>
- 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. https://doi.org/10.1207/s1532690xc0201_3
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. & Paas, F. G. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Tarmizi, R. A. & Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 424–436. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.80.4.424>
- Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 67–79). Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Spektrum.
- Trafton, J. G. & Reiser, B. J. (1993). Studying examples and solving problems: Contributions to skill acquisition. In *Proceedings of the 15th conference of the Cognitive Science Society* (S. 1017–1022). Citeseer.
- Van Gog, T., Paas, F. & van Merriënboer, J. J. (2006). Effects of process-oriented worked examples on troubleshooting transfer performance. *Learning and Instruction*, 16(2), 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.02.003>
- Viefers, R., Theyßen, H. & Schreiber, N. (2018). Experimentelle Fähigkeiten in der Grundschule diagnostizieren und individuell fördern. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*. Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/865/1002>
- Vorholzer, A. S. (2015). *Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern?* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 197). Dissertation.
- Vorholzer, A. S., Aufschnaiter, C. von & Kirschner, S. (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 25–41. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0039-3>
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19.
- Ziegler, A., Stöger, H. & Grassinger, R. (2010). Diagnostik selbstregulierten Lernens mit dem FSL-7. *Journal für Begabtenförderung*, 10(1), 24–33.

17 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Modell experimenteller Kompetenz nach Schreiber et al. (2009)	17
Abb. 3.1: VKS Modell nach Schwichow (2015, S. 56)	24
Abb. 7.1: Erweitertes Modell angelehnt an Schwichow (2015, S. 56)	60
Abb. 7.2: Organisation der Themen der Interventionsgruppe	62
Abb. 7.3: Beispiel Coverstory zum Thema Murmelbahnen (Lösungsbeispiele) .	64
Abb. 7.4: Coverstory zur Wahl einer KV	66
Abb. 7.5: Beispielaufgabe aus dem Sinnabschnitt „Planung Teil I“ aus einem Lösungsbeispiel zur UV und ersten KV.	71
Abb. 7.6: Beispielseite zum Sinnabschnitt „Durchführung“	73
Abb. 7.7: Beispielaufgabe aus dem Sinnabschnitt „Sicherung“ aus einem Lösungsbeispiel. Der mit einem * gekennzeichnete Satz lautet im Arbeitsheft zu gestuften Lernhilfen: „Wenn du Hilfe brauchst, dann schau hier nach: Hilfestapel B.“	74
Abb. 7.8: Beispielaufgabe aus dem Sinnabschnitt „konfundiertes Experiment“ aus einem Lösungsbeispiel. Der mit einem * gekennzeichnete Satz lautet im Arbeitsheft zu gestuften Lernhilfen: „Wenn du Hilfe brauchst, dann schau hier nach: Hilfestapel G.“	75
Abb. 7.9: Hilfekarten zum Themengebiet Murmelbahn, Sinnabschnitt „Planung Teil I“	77
Abb. 7.10: Musterlösung zu dem Thema Murmelbahnen zum Sinnabschnitt „konfundiertes Experiment“	79
Abb. 8.1: fiktives Beispielitem „Satzverständnis“, angelehnt an (Lenhard & Schneider, 2006); richtige Antwort in Fettdruck	82
Abb. 8.2: fiktives Beispielitem „Textverständnis“, angelehnt an (Lenhard & Schneider, 2006); richtige Antwort in Fettdruck	83
Abb. 8.3: Beispielitem aus der neu entwickelten Subskala „Inanspruchnahme von Hilfe“, angelehnt an (Ziegler et al., 2010)	83
Abb. 8.4: Beispielitem zur Erfassung des „Selbstkonzepts“, adaptiert nach Brell (2008, S. 225)	84
Abb. 8.5: Items zur Erfassung der momentanen Motivation (1) und der momentanen kognitiven Belastung (2,3)	86
Abb. 8.6: Bildhafte Darstellung der dieser Arbeit zugrundeliegen INA zu Prüfung des neuentwickelten VKS-Tests mit Beschreibung der vollzogenen Schritte	88
Abb. 8.7: Beispiele für schriftliche Items; schriftlich Typ I (links); schriftlich Typ II (rechts) jeweils gegliedert in drei Abschnitte	93

Abb. 8.8 : Beispiel für hands-on Item (oben: Item; unten zu Verfügung stehendes Material).....	97
Abb. 8.9: Auszug des Laufzettels.....	98
Abb. 10.1: Beispielhafter Aufbau in einem Klassenraum.....	109
Abb. 12.1: Schema zum Vorgehen der Datenanalyse	117
Abb. 13.1: Interaktionsdiagramm Zeit*Gruppe (Intervention/Baseline)	125
Abb. 14.1: Interaktionsdiagramm Zeit*Interventionsgruppe (Lösungsbeispiele/gestufte Lernhilfen).....	135
Abb. 14.2: Teilweises Dendogramm der Ausreißeranalyse	136
Abb. 14.3: Dendogramm der Clusteranalyse (Ward-Methode) nach den Lernervoraussetzungen	137
Abb. 14.4: Auszug des Diagramms zur Bestimmung des Elbow-Kriteriums....	138
Abb. 14.5: Box-Plots der Interventionsgruppe zur Clusterung nach Lernervoraussetzungen (lila: Clustergruppe 1; blau: Clustergruppe 2; grau: Clustergruppe 3; grün: Clustergruppe 4)	140
Abb. 14.6: Interaktionsdiagramm Zeit*Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen	147

18 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: ExKoNawi Strukturmodell (vgl. Gut et al., 2014).....	15
Tab. 3.1: Gegenüberstellung VKS nach Siler und Klahr (2012); Murmelbahnexperiment	22
Tab. 3.2: Beispiele für Fehlertypen bei wissenschaftlichen Vorstellungen von S' uS zur VKS (Siler & Klahr, 2012).....	27
Tab. 3.3: Beispiele für Fehlertypen bei ingenieurhafte Vorstellungen von S' uS zur VKS (Siler & Klahr, 2012)	28
Tab. 6.1: Studiendesign: * entfällt bei Baseline; ** nur bei gestuften Lernhilfen	55
Tab. 7.1: Beschreibung und Markierung der unterschiedlichen Variablen im Interventionsmaterial.....	65
Tab. 7.2: Grundlegende Struktur der Arbeitshefte zu Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen. Die mit einem * gekennzeichneten Sinnabschnitte sind in gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen identisch.....	68
Tab. 7.3: Merkmale der Hilfestapel.....	78
Tab. 7.4: Nummerierung und Stufung der gestuften Lernhilfen. Der mit einem * markierte Sinnabschnitt wird nicht wiederholt, sondern nur einmal am Ende jedes Arbeitshefts durchlaufen.....	80
Tab. 8.1. Zuordnung Item-Facette	89
Tab. 8.2: Verteilung der Themen auf Testhefte (x: in Testheft enthalten); (Vieffers et al., 2018).....	91
Tab. 8.3. Übersicht: Trennschärfen und Lösungswahrscheinlichkeiten des in der ersten und zweiten Erhebung eingesetzten VKS-Tests	102
Tab. 13.1. Deskriptive Ergebnisse des Vergleichs Baselinegruppe – Interventionsgruppe * angegeben sind Mittelwerte, in Klammern die Standardabweichung und in kursiv die Varianzen.....	120
Tab. 13.2. Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov- Tests für die Lernervoraussetzungen der Baselinegruppe und Interventionsgruppe	121
Tab. 13.3. Ergebnisse des Levene- Tests für die Lernervoraussetzungen der Baselinegruppe und Interventionsgruppe.....	122
Tab. 13.4. Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zur Vergleichbarkeit von Baselinegruppe und Interventionsgruppe.....	123
Tab. 13.5: Ergebnisse einzelner Varianzanalysen für Baseline und Intervention mit Messwiederholung zur Untersuchung der Entwicklungsfrage 1	125
Tab. 13.6: Deskriptive Daten zur kognitiven Belastung und Motivation	127

Tab. 14.1. Deskriptive Ergebnisse des Vergleichs der Materialgruppe *	
angegeben sind Mittelwerte, in Klammern die Standardabweichung und in	
kursiv die Varianzen	132
Tab. 14.2. Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov- Tests für die	
Lernervoraussetzungen der Materialgruppen.....	132
Tab. 14.3. Ergebnisse des Levene- Tests für die Lernervoraussetzungen der	
Materialgruppen	133
Tab. 14.4. Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zur Vergleichbarkeit der	
Materialgruppen	133
Tab. 14.5. Ergebnisse einzelner Varianzanalysen für der beiden Materialgruppen	
mit Messwiederholung zur Untersuchung der der Forschungsfrage 1	135
Tab. 14.6: Ausschnitt der Darstellung des Tests von Mojena.....	138
Tab. 14.7: Kolmogorov-Smirnov-Test zur Prüfung der Normalverteilung über	
alle Cluster	142
Tab. 14.8: Levene-Test zur Prüfung der Varianzhomogenität über alle Cluster	142
Tab. 14.9: Ergebnisse der Varianzanalysen mit Messwiederholung zur	
Untersuchung der Forschungsfrage 3	143
Tab. 14.10: Deskriptive Ergebnisse der Clustergruppe 2, aufgeteilt nach	
Materialgruppen * angegeben sind Mittelwerte, in Klammern die	
Standardabweichung und in kursiv die Varianzen.....	144
Tab. 14.11: Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov- Tests für die	
Lernervoraussetzungen der Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen	
.....	144
Tab. 14.12: Ergebnisse des Levene- Tests für die Lernervoraussetzungen der	
Clustergruppe 2, aufgeteilt nach Materialgruppen.....	145
Tab. 14.13: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests der Clustergruppe 2 zur	
Vergleichbarkeit der Materialgruppen	146
Tab. 14.14: Ergebnisse einzelner Varianzanalysen innerhalb Clustergruppe 2 für	
gestufte Lernhilfen und Lösungsbeispiele mit Messwiederholung zur	
Untersuchung der Forschungsfrage 3	148

19 Anhang

Die angegebenen Anlagen können unter rasmus.viefers@googlemail.com angefragt werden.

Anhang A (Interventionsmaterial)

Dieser Ordner enthält die eingesetzten Interventionsmaterialien in allen Ausprägungen (Murmelbahn/ Schaukeln/ Federn/ Brausetabletten)

Anhang A1 (Lösungsbeispiele)

Anhang A2 (gestufte Lernhilfen)

Anhang A3 (Hilfekarten)

Anhang B (Testinstrumente)

Dieser Ordner beinhaltet die im Prä- und Posttest eingesetzten Testinstrumente.

Anhang B1 (schriftliche Tests Prä und Post)

Anhang B2 (hands-on-Test Prä und Post)

Anhang C (Testleitermanuale)

Dieser Ordner beinhaltet sowohl die während der Testung eingesetzten Testleitermanuale als auch Beispiele der Listen zur Feststellung von Besonderheiten und Abläufen während der Testung.

Anhang C1 (Testleitermanuale Testung)

Anhang C2 (Testleitermanuale Intervention)

Anhang D (Datensätze)

Dieser Ordner beinhaltet die für die Rechnungen zugrundeliegenden SPSS bzw. Excel Dateien, teilweise mit anonymisierten Testwerten der S' uS.

Anhang D1 (Baseline und Haupterhebung im Vergleich)

Anhang D2 (Haupterhebung mit Clusterung)

Anhang D3 (Mojena und Elbowkriterium)

20 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich während der Erstellung dieser Arbeit begleitet, beraten und unterstützt haben und mit denen ich viele Momente erlebte, an die ich mich immer gerne zurück erinnern werde.

Mein besonderer Dank gilt:

Frau Prof. Dr. Theyßen. Danke dafür, dass du mir ermöglicht hast, nach meinem Studium die fachwissenschaftliche Seite der Uni noch näher kennen zu lernen. Danke für all die Gespräche, deine immer freundliche Art, deine Geduld, deine Unterstützung zu jeder Zeit und die vielen gemeinsamen Kaffees.

Frau Prof. Dr. Wodzinski für die Erstellung des Zweitgutachtens und die Mitgliedschaft in der Prüfungskommission.

Herrn Prof. Dr. Ropohl für die Mitgliedschaft in der Prüfungskommission.

Herrn Prof. Dr. Nienhaus für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Dr. Nico Schreiber für die vielen Gespräche in Büros, Fluren, Mensen, auch zwischen Tür und Angel, sowie am Telefon.

Dr. Britta Kalthoff und Barbara Steffentorweihen, meinen besten Bürokolleginnen, für ihre Beratung (auch Hinsichtlich der Outfitwahl).

Leonie Jung für all das Basteln, Schleppen, Eingeben von Daten und vieles mehr und besonders für ihren Blick dafür, wo ich meine Sachen hingelegt habe.

Allen Studierenden, studentischen Hilfskräften, Schulleitungen, Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern und allen anderen für ihre Unterstützung.

Meiner Lebensgefährtin Jana Berres für ihr Können mit Schere und Stift, das Zuhören, das Packen, das Laminieren und all die Zeit, die damit verbunden war.

Meiner Mutter Ingrid Breuer-Viefers für ihr immer offenes Ohr für die vielen Probleme und Krisen eines Doktoranden und die Beantwortung von Fragen rund um die Tücken der deutschen Rechtschreibung und Grammatik.

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

- 310 Wolfgang Becker (2021): Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 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 variierten 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 Teichrow (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 variierten 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 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

Vollständige Übersicht unter: <https://www.logos-verlag.de/spcl>

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder telefonisch (030 - 42 85 10 90) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung im deutschsprachigen Raum.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

Kontaktadressen:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2,
1090 Wien, Österreich,
Tel. +43-1-4277-60330,
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Mathias Ropohl
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen,
Tel. 0201-183 2704,
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Die Variablenkontrollstrategie (VKS) beschreibt den Umgang mit Variablen beim naturwissenschaftlichen Experimentieren. Studien zeigen, dass bereits Grundschulkinder die Strategie anwenden können, aber bis ins Erwachsenenalter Probleme beim korrekten Umgang mit der VKS existieren. Daher scheint eine frühe Förderung VKS-bezogener Fähigkeiten sinnvoll.

Zu diesem Zweck wurden zunächst entsprechende Materialien in Form von Lösungsbeispielen sowie gestuften Lernhilfen zu physikbezogenen bzw. alltäglichen Kontexten entwickelt. Ihre Wirksamkeit im Hinblick auf den Erwerb VKS-bezogener Fähigkeiten wurde mit einer Stichprobe von $N = 188$ Grundschulkindern im Rahmen einer Interventionsstudie im Prä-Post-Design untersucht. Es wurden zusätzlich Daten zur Lesekompetenz, zur Selbstregulationskompetenz und zum Selbstkonzept erhoben, um den Einfluss von personenbezogenen Merkmalen auf den Erwerb der VKS zu untersuchen. Zur Erfassung der VKS-bezogenen Fähigkeiten wurde ein Test entwickelt, der neben schriftlichen Items auch Items mit Realexperimenten einbezieht.

Mit der Untersuchung konnte aufgezeigt werden, dass sowohl die Lösungsbeispiele als auch die Aufgaben mit gestuften Lernhilfen gleichermaßen zur Förderung von VKS-bezogenen Fähigkeiten in der Grundschule geeignet sind. Allerdings scheint für Lernende mit geringem Vorwissen und niedrigen Werten bzgl. der weiteren erfassten Merkmale der Einsatz von Lösungsbeispielen effektiver.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5968-7